



PROYEK AKHIR TERAPAN - RC09-6599

STUDI PEMANFAATAN *FLY ASH* DAN LIMBAH SANDBLASTING (*SILICA FUME*) PADA BINDER GEOPOLIMER

APRILIA RIZKY TRIYANTI
NRP. 3115.040.615

Dosen Pembimbing I
Ir. Srie Subekti, MT

Dosen Pembimbing II
Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D

PROGAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL LANJUT JENJANG
Jurusan Bangunan Gedung
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



PROYEK AKHIR TERAPAN - RC09-6599

STUDI PEMANFAATAN *FLY ASH* DAN LIMBAH SANDBLASTING (*SILICA FUME*) PADA BINDER GEOPOLIMER

APRILIA RIZKY TRIYANTI
NRP. 3115.040.615

Dosen Pembimbing I
Ir. Srie Subekti, MT

Dosen Pembimbing II
Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D

PROGAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL LANJUT JENJANG
Jurusan Bangunan Gedung
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT- RC09-6599

STUDY OF THE UTILIZATION OF FLY ASH AND WASTE SANDBLASTING (SILICA FUME) ON BINDER GEOPOLYMER

APRILIA RIZKY TRIYANTI
NRP. 3115.040.615

Supervisor
Ir. Srie Subekti, MT

Co Supervisor
Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D

D-IV PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING EXTENTION
Structure Building Departement
Faculty of Civil Engineering and Planing
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - RC09-6599

STUDY OF THE UTILIZATION OF FLY ASH AND WASTE SANDBLASTING (SILICA FUME) ON BINDER GEOPOLYMER

APRILIA RIZKY TRIYANTI
NRP. 3115.040.615

Supervisor
Ir. Srie Subekti, MT

Co Supervisor
Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D

D-IV PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING EXTENTION
Structure Building Departement
Faculty of Civil Engineering and Planing
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PEMANFAATAN LIMBAH SANDBLASTING (*SILICA FUME*) DAN *FLY ASH* PADA BINDER GEOPOLIMER

PROYEK AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan
Pada
Program Studi Diploma IV Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh :



Aprilia Rizky T.

3115.040.615

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Proyek Akhir :
Surabaya, Januari 2017

123 JAN 2017



Ir. Srie Subekti, MT Ridho Bayuaji, ST., MT., P.hD
NIP. 19560520 198903 2 001 NIP. 19730710 199802 1 002

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

STUDI PEMANFAATAN *FLY ASH* DAN LIMBAH SANDBLASTING (*SILICA FUME*) PADA BINDER GEOPOLIMER

Nama Mahasiswa : Aprilia Rizky T.
NRP : 3115 040 615
Jurusan : Lanjut Jenjang Diploma IV Teknik Sipil
FTSP-ITS
Dosen Pembimbing I : Ir. Srie Subekti, MT
Dosen Pembimbing II : Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D

Abstrak

Beton geopolimer merupakan beton geosintetik yang tidak menggunakan semen portland sebagai bahan dasar, tetapi menggunakan bahan *pozzolan* berupa *fly ash* dan limbah sandblasting (*silica fume*) yang banyak mengandung unsur alumina (Al) dan silika (Si) dimana unsur tersebut sangat memegang peranan penting dalam mempengaruhi karakteristik beton geopolimer. Limbah Sandblasting dipilih sebagai bahan dasar penelitian ini karena kandungan silika dan alumina yang tinggi dari proses penyemprotan abrasive material biasanya berupa pasir silika dengan tekanan tinggi pada suatu permukaan (baja atau besi) dengan tujuan untuk menghilangkan material kontaminasi dan merupakan bahan additive pengganti semen pada konsentrasi tertentu dapat berpengaruh terhadap mutu beton dengan meningkatkan kuat tekan beton.

Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa campuran limbah sandblasting dan fly ash menghasilkan beton geopolimer lebih baik daripada hanya menggunakan fly ash sebagai bahan dasar pengganti semen portland dan dapat mengurangi ketergantungan beton geopolimer terhadap fly ash.

Kata kunci : Beton Geopolimer, *Fly Ash*, Limbah Industri Sandblasting (*Silica Fume*), Semen Portland

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

STUDY OF THE UTILIZATION OF FLY ASH AND WASTE SANDBLASTING (SILICA FUME) ON BINDER GEOPOLYMER

Name of Student : Aprilia Rizky T.
Reg. Number : 3115 040 615
Departement : D-IV of Civil Engineering Extention
FTSP-ITS
Supervisor : Ir. Srie Subekti, MT
Co. Supervisor : Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D

Abstract

Geosynthetic geopolymers concrete is concrete that not using portland cement as a base material, but using pozzolan form of fly ash and waste sandblasting (silica fume) contains elements of alumina (Al) and silica (Si). The element plays an important role in influencing the characteristics of geopolymers concrete. Sandblasting waste was chosen as the basic ingredients of this research because the content of silica and alumina high from the process of spraying abrasive material is usually in the form of silica sand with a high pressure on a surface (steel or iron) with the aim to eliminate material contamination and is additive replacement for cement in certain concentration can affect the quality of the concrete by enhancing strong hit concrete.

The results of the testing that has been done shows that the mixture of waste fly ash sandblasting and produce geopolymers concrete better than just using fly ash as a replacement for portland cement raw materials and can reduce the dependency geopolymers concrete against the fly ash.

Keywords: *Geopolymers concrete, fly ash, industrial waste sandblasting (Silica Fume), portland cement*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Syukur alhamdulillah senantiasa saya haturkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya kepada kami. Shalawat serta salam yang selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga kami dapat menyelesaikan dan menyusun laporan Proyek Akhir Terapan ini dengan baik.

Tersusunnya Laporan Proyek Akhir Terapan yang berjudul **“STUDI PEMANFAATAN FLY ASH DAN LIMBAH SANDBLASTING (SILICA FUME) PADA BINDER GEOPOLIMER”** juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi berbagai pihak yang banyak membantu dan memberi masukan serta arahan kepada saya. Untuk itu saya sampaikan terima kasih terutama kepada :

1. Kedua orang tua tercinta sebagai penyemangat terbesar dari kami yang telah banyak memberi dukungan secara materi maupun moral berupa doa.
2. Bapak Dr Machsus, ST., MT. selaku Kepala Program Studi Diploma Teknik Sipil – ITS .
3. Ibu Ir. Srie Subekti, MT dan Bapak Ridho Bayuaji, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan, kritik dan saran dalam penyusunan laporan proyek akhir terapan ini.
4. Staf Laboratorium Uji Material Diploma IV Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya
5. Staf Laboratorium Uji Bahan Jalan Diploma IV Teknik Sipil FTSP- ITS Surabaya
6. Staf Laboratorium Energi ITS Surabaya
7. Staf dan karyawan PLTU. Paiton, Probolinggo
8. Staf dan karyawan PT. Semen Indonesia, Gresik

9. Staf dan karyawan PT. Swadaya Graha, Gresik
10. Teman-teman penelitian dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu yang telah membantu kami dalam penyelesaian proyek akhir terapan ini.

Saya menyadari bahwa dalam penyusunan proyek akhir terapan ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan laporan proyek akhir terapan ini.

Semoga pembahasan yang kami sajikan dapat memberi manfaat bagi pembaca dan semua pihak, Amin.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR GRAFIK	xxi
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geoplimer.....	5
2.2 Limbah Sandblasting (<i>Silica Fume</i>)	6
2.2.1 Pengertian Limbah Sandblasting	7
2.2.2 Karakteristik Limbah Sandblasting.....	7
2.2.3 Keuntungan dan Kelemahan Penggunaan Limbah Sandblasting.....	8
2.3 Fly Ash	9
2.3.1 Pengertian Fly Ash.....	9
2.3.2 Karakteristik Fly Ash	11
2.3.3 Klasifikasi Jenis Fly Ash	13
2.3.4 Keuntungan dan Kelemahan Penggunaan Fly Ash...	14
2.4 Alkali Aktivator (Sodium silikat dan Sodium Hidroksida)	15
2.4.1 Sodium Silikat (Na_2SiO_3)	15
2.4.2 Sodium Hidroksida (NaOH)	17
2.5 Curing	18

2.6 Jenis – jenis Pengujian	19
2.6.1 Setting Time.....	19
2.6.2 Porositas	19
2.6.3 Kuat Tekan.....	20
2.6.4 UPV (Ultrasonic Pulse Velocity).....	22
2.6.5 Permeability	23
2.6.6 SEM – EDX (Scanning Electron Microscope)	24
2.6.7 XRF (X-Ray Fluoresence)	25
2.6.8 XRD (X-ray Diffraction).....	27
BAB III.....	29
METODOLOGI	29
3.1 Umum.....	29
3.2 Diagram Alir Penelitian	30
3.3 Persiapan Bahan dan Praktikum Di Laboratorium	31
3.3.1 Fly Ash.....	31
3.3.2 Limbah Sandblasting (<i>silica fume</i>)	31
3.3.3 Uji Komposisi Fly Ash dan Limbah Sandblasting....	31
3.3.4 Jenis alkali aktivator	31
3.4 Mix Desain Benda Uji Geopolimer.....	32
3.4.1 Perhitungan Mix Desain Benda Uji	33
3.4.2 Data-data perhitungan Mix Desain (Keseluruhan) ...	35
3.5 Pembuatan Benda Uji Geopolimer.....	38
BAB IV	43
HASIL DAN ANALISA	43
4.1 Umum.....	43
4.2 Hasil Material	43
4.2.1 Fly Ash.....	43
4.2.2 Limbah Sandblasting (<i>silica fume</i>)	43
4.3 Hasil Pengujian Binder Geopolimer.....	44
4.3.1 Setting Time.....	44
A. Fly Ash (100%).....	44
B. Fly Ash (50%) + Limbah Sandblasting (50%)	46
C. Rekapitulasi Data Setting Time	49
4.3.2 Tes Porositas	50
A. Fly Ash (100%).....	50

B. Fly Ash (50%) + Limbah Sandblasting (50%)	53
C. Rekapitulasi Data Tes Porositas	55
4.3.3 Tes Kuat Tekan	56
A. Fly Ash (100%).....	56
B. Fly Ash (50%) + Limbah Sandblasting (50%)	58
C. Fly Ash (75%) + Limbah Sandblasting (25%)	60
D. Fly Ash (25%) + Limbah Sandblasting (75%)	61
E. Rekapitulasi Data Kuat Tekan	63
4.3.4 Tes UPV	65
A. Fly Ash (100%).....	65
B. Fly Ash (50%) + Limbah Sandblasting (50%)	70
C. Rekapitulasi Data Tes UPV	75
4.3.5 Tes Permeability	76
A. Fly Ash (100%).....	76
B. Fly Ash (50%) + Limbah Sandblasting (50%)	77
C. Rekapitulasi Data Tes Permeability	78
4.4 Hubungan Hasil Pengujian Binder Geopolimer	80
A. Hubungan Kuat Tekan dan Porositas	80
B. Hubungan Kuat Tekan dan UPV	82
C. Hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas	84
BAB V.....	87
PENUTUP	87
5.1 Kesimpulan.....	87
5.2 Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA	89
BIODATA PENULIS	
LAMPIRAN 1 [MIX DESAIN FLY ASH]	
LAMPIRAN 2 [MIX DESAIN FLY ASH(50%)+SANDBLASTING(50%)]	
LAMPIRAN 3 [HASIL PENGUJIAN XRF MATERIAL]	
LAMPIRAN 4 [HASIL PENGUJIAN SEM-EDX FLY ASH]	
LAMPIRAN 5 [HASIL PENGUJIAN SEM-EDX SANDBLAST]	
LAMPIRAN 6 [HASIL PENGUJIAN XRD MATERIAL]	
LAMPIRAN 7 [DOKUMENTASI PENELITIAN]	
LAMPIRAN [LOG BOOK]	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Kimia Limbah Sandblasting	8
Tabel 2.2	Komposisi Kimia Fly Ash	11
Tabel 2.3	Komposisi Kimia Fly Ash tipe C (PLTU Paiton)	11
Tabel 2.4	Persyaratan Kandungan Kimia Fly Ash	12
Tabel 2.5	Susunan sifat Fisisk Fly Ash.....	12
Tabel 2.6	Persyaratan Fisik Fly Ash	13
Tabel 2.7	Klasifikasi Kualitas Beton	23
Tabel 2.8	Kualifikasi Kualitas Permukaan Beton	24
Tabel 3.1	Komposisi Binder Geopolimer Fly Ash (100%) perbandingan Fly Ash (74%) dan massa aktivator (24%)	35
Tabel 3.2	Komposisi Binder Geopolimer Fly Ash (50%)+Sandblast(50%) perbandingan Fly Ash (80%) dan massa aktivator (20%)	35
Tabel 3.3	Komposisi Binder Geopolimer Fly Ash (75%)+Sandblast(25%) perbandingan Fly Ash (80%) dan massa aktivator (20%)	35
Tabel 3.4	Komposisi Binder Geopolimer Fly Ash (25%)+Sandblast(75%) perbandingan Fly Ash (80%) dan massa aktivator (20%)	36
Tabel 3.5	Komposisi Binder Geopolimer Fly Ash (100%) perbandingan massa Fly Ash (74%) dan massa aktivator (24%) Kubus.....	36
Tabel 3.6	Komposisi Binder Geopolimer Fly Ash (50%)+Sandblast(50%) perbandingan Fly Ash (80%) dan massa aktivator (20%) Kubus	36
Tabel 3.7	Alat Pembuatan benda Uji Geopolimer	38
Tabel 3.8	Bahan Pembuatan benda Uji Geopolimer	39

Tabel 4.1	Hasil setting time fly ash binder geopolimer ...	44
Tabel 4.2	Hasil setting time fly ash (50%) + sandblast (50%) 0,5 binder geopolimer	46
Tabel 4.3	Hasil setting time fly ash (50%) + sandblast (50%) 1,5 binder geopolimer	47
Tabel 4.4	Hasil setting time dari benda uji binder geopolimer secara keseluruhan	49
Tabel 4.5	Hasil porositas fly ash perbandingan aktivator 0,5	50
Tabel 4.6	Hasil porositas fly ash perbandingan aktivator 1,5.	51
Tabel 4.7	Hasil porositas fly ash (50%) + sandblast (50%) aktivator 0,5	53
Tabel 4.8	Hasil porositas fly ash (50%) + sandblast (50%) aktivator 1,5	54
Tabel 4.9	Hasil porositas dari benda uji secara keseluruhan	55
Tabel 4.10	Hasil kuat tekan fly ash (100%) perbandingan aktivator 0,5	56
Tabel 4.11	Hasil kuat tekan fly ash (100%) perbandingan aktivator 1,5	57
Tabel 4.12	Hasil kuat tekan fly ash (50%) + sandblast (50%) perbandingan aktivator 0,5.....	58
Tabel 4.13	Hasil kuat tekan fly ash (50%) + sandblast (50%) perbandingan aktivator 1,5.....	59
Tabel 4.14	Hasil kuat tekan fly ash (75%) + sandblast (25%) perbandingan aktivator 0,5.....	60
Tabel 4.15	Hasil kuat tekan fly ash (75%) + sandblast (25%) perbandingan aktivator 1,5.....	60
Tabel 4.16	Hasil kuat tekan fly ash (25%) + sandblast (75%) perbandingan aktivator 0,5.....	61

Tabel 4.17	Hasil kuat tekan fly ash (25%) + sandblast (75%) perbandingan aktivator 1,5.....	62
Tabel 4.18	Hasil kuat tekan fly ash (100%) dengan Fly Ash (50%) + Sandblast (50%).....	63
Tabel 4.19	Hasil kuat tekan fly ash (100%) dengan Fly Ash (75%) + Sandblast (25%).....	63
Tabel 4.20	Hasil kuat tekan fly ash (100%) dengan Fly Ash (25%) + Sandblast (75%).....	64
Tabel 4.21	Hasil UPV fly ash (100%) perbandingan 0,5 umur 3hari.....	65
Tabel 4.22	Hasil UPV fly ash (100%) perbandingan 0,5 umur 28hari.....	66
Tabel 4.23	Hasil UPV fly ash (100%) perbandingan 0,5 umur 56hari.....	67
Tabel 4.24	Hasil UPV fly ash (100%) perbandingan 1,5 umur 3hari.....	68
Tabel 4.25	Hasil UPV fly ash (100%) perbandingan 1,5 umur 28hari.....	68
Tabel 4.26	Hasil UPV fly ash (100%) perbandingan 1,5 umur 56hari.....	69
Tabel 4.27	Hasil UPV fly ash (50%) + sandblast (50%) perbandingan 0,5 umur 3hari.....	70
Tabel 4.28	Hasil UPV fly ash (50%) + sandblast (50%) perbandingan 0,5 umur 28hari.....	71
Tabel 4.29	Hasil UPV fly ash (50%) + sandblast (50%) perbandingan 0,5 umur 56hari.....	71
Tabel 4.30	Hasil UPV fly ash (50%) + sandblast (50%) perbandingan 1,5 umur 3hari.....	72
Tabel 4.31	Hasil UPV fly ash (50%) + sandblast (50%) perbandingan 1,5 umur 28hari.....	73

Tabel 4.32	Hasil UPV fly ash (50%) + sandblast (50%) perbandingan 1,5 umur 56hari	74
Tabel 4.33	Hasil UPV secara keseluruhan.....	75
Tabel 4.34	Kualifikasi kualitas beton berdasarkan uji UPV mengacu British Standart (BS) 1881-1986	76
Tabel 4.35	Hasil tes permeabilitas fly ash (100%) perbandingan aktivator 0,5	76
Tabel 4.36	Hasil tes permeabilitas fly ash (100%) perbandingan aktivator 1,5	77
Tabel 4.37	Hasil tes permeabilitas fly ash (50%) + sandblast (50%) perbandingan aktivator 0,5....	77
Tabel 4.38	Hasil tes permeabilitas fly ash (50%) + sandblast (50%) perbandingan aktivator 1,5....	78
Tabel 4.39	Kualifikasi kualitas beton berdasarkan uji permabilitas mengacu pada SN 505 252/1, Annex E	78
Tabel 4.40	Hasil tes permeabilitas fly ash (100%)	79
Tabel 4.41	Hasil tes permeabilitas fly ash (50%) + sandblast (50%).....	79
Tabel 4.42	Hasil hubungan kuat tekan dan porositas fly ash (100%)	80
Tabel 4.43	Hasil hubungan kuat tekan dan porositas fly ash (50%) + sandblast (50%)	81
Tabel 4.44	Hasil hubungan kuat tekan dan UPV fly ash (100%)	82
Tabel 4.45	Hasil hubungan kuat tekan dan UPV fly ash (50%) + sandblast (50%)	83
Tabel 4.46	Hasil hubungan kuat tekan dan permeabilitas fly ash (100%).....	84
Tabel 4.47	Hasil hubungan kuat tekan dan permeabilitas fly ash (50%) + sandblast (50%).....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar ikatan polimerisasi pada <i>Fly Ash-Based Geopolymer Mortar</i> (Yuwono dan Sanjaya,2006)	6
Gambar 2.2 Limbah Sandblasting	7
Gambar 2.3 Larutan Na_2SiO_3	16
Gambar 2.4 Kristal NaOH dan Larutan NaOH (cair).....	18
Gambar 2.5 Proses setting time	19
Gambar 2.6 Uji Porositas	20
Gambar 2.7 Uji Kuat Tekan	22
Gambar 2.8 Uji UPV	23
Gambar 2.9 Uji Permeabilitas	24
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian	30
Gambar 3.2 Memasukkan fly ash/sandblast kedalam mixer	40

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Hasil setting time binder geopolimer fly ash 12M-0,5	45
Grafik 4.2	Hasil setting time binder geopolimer fly ash 12M-1,5	45
Grafik 4.3	Hasil setting time binder geopolimer fly ash (50%) + sandblasting (50%) 12M-0,5	48
Grafik 4.4	Hasil setting time binder geopolimer fly ash (50%) + sandblasting (50%) 12M-1,5	48
Grafik 4.5	Hasil setting time binder geopolimer keseluruhan.....	49
Grafik 4.6	Hasil porositas fly ash (100%)	52
Grafik 4.7	Hasil porositas fly ash (50%) + sandblast (50%)	55
Grafik 4.8	Hasil porositas dari benda uji keseluruhan	55
Grafik 4.9	Hasil kuat tekan fly ash (100%)	58
Grafik 4.10	Hasil kuat tekan fly ash (50%) + sandblast (50%)	59
Grafik 4.11	Hasil kuat tekan fly ash (75%) + sandblast (25%)	61
Grafik 4.12	Hasil kuat tekan fly ash (25%) + sandblast (75%).....	62
Grafik 4.13	Hasil uji kuat tekan fly ash (100%) dengan fly ash (50%) + sandblast(50%)	63
Grafik 4.14	Hasil uji kuat tekan fly ash (100%) dengan fly ash (75%) + sandblast (25%)	64
Grafik 4.15	Hasil uji kuat tekan fly ash (100%) dengan fly ash (75%) + sandblast (25%)	64
Grafik 4.16	Hasil uji UPV fly ash (100%) perbandingan 0,5	67
Grafik 4.17	Hasil uji UPV fly ash (100%) perbandingan 1,5	70
Grafik 4.18	Hasil uji UPV fly ash (50%) + sandblast (50%) perbandingan 0,5.....	72
Grafik 4.19	Hasil uji UPV fly ash (50%) + sandblast (50%) perbandingan 1,5.....	75

Grafik 4.20 Hasil uji UPV secara keseluruhan	75
Grafik 4.21 Hasil hubungan kuat tekan dan porositas fly ash (100%)	80
Grafik 4.22 Hasil hubungan kuat tekan dan porositas fly ash (50%) + sandblast (50%)	81
Grafik 4.23 Hasil hubungan kuat tekan dan UPV fly ash (100%)	82
Grafik 4.24 Hasil hubungan kuat tekan dan UPV fly ash (50%) + sandblast (50%)	83
Grafik 4.25 Hasil hubungan kuat tekan dan permeabilitas fly ash (100%)	84
Grafik 4.26 Hasil hubungan kuat tekan dan permeabilitas fly ash (50%) + sandblast (50%)	85

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton sebagai material bangunan paling populer, tersusun dari komposisi utama agregat kasar, agregat halus, air, dan Semen Portland menjadi material yang sangat penting dan banyak digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur seperti gedung, jembatan, jalan raya, dibawah tanah seperti pondasi. Dengan adanya pembangunan infrastruktur yang semakin hari semakin meningkat mengakibatkan produksi semen yang meningkat pula. Menurut (Malhotra, 1999) produksi semen dunia akan terus meningkat dari 1,5 milyar ton pada tahun 1995 menjadi 2,2 milyar ton pada tahun 2010.

Akan tetapi, pada saat proses produksi semen terjadi pelepasan gas karbondioksida (CO_2) ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi (Davidovits, 1994), yang dapat merusak lingkungan hidup kita diantaranya pemanasan global. Maka diperlukan bahan alternatif lain yang bisa menggantikan semen dalam campuran beton untuk mendapatkan beton yang ramah lingkungan. Diantaranya ialah melalui pengembangan beton dengan menggunakan bahan pengikat anorganik seperti alumina-silikat *polymer* atau dikenal dengan *geopolymer* yang merupakan sintesa dari material geologi yang terdapat pada alam yang kaya akan kandungan silika dan alumina (Davidovits, 1999).

Beton geopolimer adalah benton yang menggunakan *fly ash*, *bottom ash*, abu sekam padi atau limbah industri lainnya yang mengandung Si tinggi sebagai bahan pengganti semen. Sehingga, karakteristik beton geopolimer (*setting time* & kuat tekan) sangat dipengaruhi oleh karakteristik *fly ash* (fisik, nilai pH, dan kandungan kimia). Karena *fly ash* berasal dari pembakaran batu bara, maka perbedaan pada karakteristik *fly ash* disebabkan oleh asal batu bara, teknik pembakaran batu bara, kandungan mineral batu bara, metode

pengumpulan batu bara, lama waktu penyimpanan batu bara di *stock pile*, dan periode pengambilan sampel batu bara (Ekaputri, Priadana, Susanto & Junaedi, 2013).

Untuk mengurangi dominasi penggunaan *fly ash* terhadap geopolimer dan meminimalisir ketidakstabilan karakteristik *fly ash*. Unsur-unsur ini banyak didapati, di antaranya pada material hasil sampingan industri, seperti misalnya limbah *sandblasting*. Material limbah *sandblasting* (*silica fume*) dalam pembuatan beton dapat saja bereaksi secara kimia dengan cairan alkaline pada temperatur tertentu untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen.

Untuk saat ini limbah *sandblasting* dari industri fabrikasi baja, industri galangan kapal semakin banyak dan menumpuk. Untuk itu perlu dimanfaatkan demi mengurangi volume limbah tersebut sehingga limbah ini dapat diolah dan digunakan. Untuk itu dalam laporan tugas akhir ini, penyusun akan membahas tentang **“STUDI PEMANFAATAN FLY ASH DAN LIMBAH SANDBLASTING (SILICA FUME) PADA BINDER GEOPOLIMER”**. Penyusun ingin memanfaatkan campuran limbah *sandblasting* sebagai bahan pengganti semen dan mengurangi dominasi *fly ash* terhadap beton geopolimer.

Dengan adanya laporan akhir ini, penyusun berharap bisa memberikan sumbangsih penelitian yang bermanfaat bagi masyarakat. Kemudian dapat diterapkan dan diteliti lagi lebih lanjut.

1.2 Rumusan masalah

Permasalahan pokok yang akan di bahas dalam penelitian ini adalah :

- a) Bagaimana karakteristik beton geopolimer yang menggunakan Limbah Sandblasting dan *Fly Ash*.
- b) Bagaimana pengaruh perbandingan bahan pengikat binder geopolimer dengan komposisi *Fly Ash* dan

Limbah Sandblasting (*silica fume*) terhadap *setting time* , kuat tekan, UPV, porositas dan permeabilitas.

- c) Ketergantungan (dominasi) penggunaan *Fly Ash* terhadap beton geopolimer.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini meliputi :

- a) Prosedur pengujian dan analisis beton geopolimer sama seperti prosedur pengujian dan analisis pada beton normal.
- b) *Fly Ash* yang digunakan berasal dari PJB Paiton.
- c) Limbah Sandblasting yang digunakan berasal dari PT.Swadaya Graha,Gresik.
- d) Kadar Sodium Hidroksida (NaOH) yang digunakan adalah 12 Mol.
- e) Perbandingan larutan Na_2SiO_3 : NaOH adalah 0,5 dan 1,5.
- f) Pengujian kuat tekan, porositas, UPV dan permeabilitas dilakukan pada umur 3, 28, dan 56 hari.
- g) Perawatan beton geopolimer dilakukan pada suhu ruang.

1.4 Tujuan

Tujuan dan manfaat dari penelitian proyek akhir ini adalah :

- a) Mengetahui pengaruh perbandingan bahan pengikat binder geopolimer dengan komposisi *Fly Ash*, Limbah Sandblasting (*silica fume*) terhadap *setting time* , kuat tekan, UPV, porositas dan permeabilitas.
- b) Mengetahui perbandingan komposisi campuran yang paling baik untuk menghasilkan beton geopolimer.
- c) Mengurangi ketergantungan (dominasi) penggunaan *Fly Ash* terhadap beton geopolimer.

1.5 Manfaat

- a) Dihasilkan beton geopolimer yang mempunyai mutu yang sama atau lebih tinggi dari beton normal.
- b) Mengurangi ketergantungan penggunaan semen dengan memanfaatkan limbah industri dan mengurangi dominasi penggunaan *Fly ash* terhadap beton geopolimer.
- c) Mengurangi penumpukan Limbahh Sandblasting dengan cara memanfaatkan limbah tersebut sebagai salah satu bahan pengikat dalam produksi bahan bangunan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Geopolimer

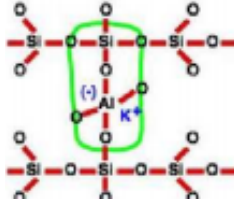
Geopolymer adalah sebuah senyawa silikat alumino anorganik yang disintesis dari bahan – bahan produk sampingan seperti abu terbang (fly ash) abu sekam padi (risk husk ash) dan lain – lain, yang banyak mengandung silicon dan aluminium (Davidovits, 1997) Geopolymer merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi (Davidovits, 1994).

Proses polimerisasi menghasilkan suatu rantai dalam bentuk tiga struktur dimensional dimana masing-masing terdiri dari bentuk ikatan-ikatan polymeric Si-O-O-Al (Polysialate). Polysialate-polysialate ini dibagi dalam 3 jenis yaitu polysialate (Si-O-Al-O), polysialate-siloxo (Si-O-Al-O-Si-O) dan polysialate-disiloxo (Si-O-Al-O-Si-O-Si-O). Proses geopolimerisasi adalah suatu reaksi kimia antara aluminosilika oksida (Si_2O_5 , Al_2O_2) dengan alkali polysialate.

Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silica (Si) mempunyai peranan penting karena reaksi aluminium dan silika dengan alkaline akan menghasilkan AlO_4 dan SiO_4 . Pada umumnya polysialate adalah suatu natrium atau kalium silikat yang diproduksi oleh pabrik-pabrik kimia dalam bentuk bubuk silika atau seperti kerikil sebagai hasil produk-produk silika atau hasil sampingan yang berhubungan dengan metalurgi besi. Selama pembentukan kimia dari geopolymer ini, air berpengaruh pada masa perawatan. Air yang mengisi pori-pori geopolymer akan sedikit mempengaruhi mutu geopolymer itu.

Dapat dikatakan bahwa air tidak mempunyai peran penting dalam menentukan mutu geopolymer. Hal ini berlawanan dengan reaksi kimia pada semen portland selama

proses hidrasi, dimana proses ini akan mempengaruhi mutu mortar. (Sugiri,dkk. 2009)



Gambar 2.1. Gambar Ikatan Polimerisasi pada *Fly Ash-Based Geopolymer Mortar* (Yuwono dan Sanjaya, 2006)

Beton geopolimer dengan bahan pengikat tidak menggunakan semen portland, tetapi menggunakan material alami sebagai penggantinya. material alami yang digunakan adalah material yang memiliki kandungan oksida silika dan alumina tinggi. limbah Sandblasting dipilih sebagai bahan dasar penelitian ini karena kandungan silika dan aluminanya yang tinggi.

2.2 Limbah Sandblasting

2.2.1 Pengertian Limbah Sandblasting

Sandblasting adalah proses penyemprotan abrasive material biasanya berupa pasir silika atau steel grit dengan tekanan tinggi pada suatu permukaan (baja atau besi) dengan tujuan untuk menghilangkan material kontaminasi seperti karat, cat, garam, oli dll. Selain itu juga bertujuan untuk membuat profile (kekasaran) pada permukaan metal agar dapat tercapai tingkat perekatan yang baik antara permukaan metal dengan bahan pelindung misalnya cat. Dari proses tersebut menghasilkan limbah sandblasting berupa pasir silika (silica fume).

Untuk saat ini limbah sandblasting dari industri vabrikasi baja, industri galangan kapal semakin banyak dan menumpuk, untuk itu perlu dimanfaatkan sehingga limbah ini

dapat diolah dan digunakan demi demi mengurangi volume limbah tersebut.

2.2.2 Karakteristik Limbah Sandblasting (*Silica Fume*)

a. Karakteristik Kimia Limbah Sandblasting (*Silica Fume*)

Limbah Sandblasting (*Silica fume*) merupakan material yang bersifat *pozzollonic*. Kandungan SiO_2 yang tinggi dalam *Silica fume* yang mencapai 85% sampai 98%, berguna untuk keperluan campuran semen (Khayat, K.H, et al, 1997).

Dalam penggunaanya, *silica fume* berfungsi sebagai pengganti dari jumlah semen dalam campuran beton. Kandungan SiO_2 dalam *silica fume* akan bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen pada saat proses pembentukan senyawa *kalsium silikat hidrat* (CSH) yang berpengaruh dalam proses pengerasan semen.



Gambar 2.2 Limbah Sandblasting

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Limbah Sandblasting

Oksida	Limbah Sandblast Persen (%)
Kapur (CaO)	4,56
Silika (SiO_2)	49,53
Alumina (Al_2O_3)	22,01
Besi (Fe_2O_3)	18,80
Magnesia (MgO)	1,98
Sulfur (SO_3)	0,0714

(Sumber : Analisa Lab. PT Semen Indonesia)

b. Karakteristik Fisik Limbah Sandblasting (*Silica Fume*)

- a. Warna : putih bening atau warna lain bergantung kepada senyawa pengotornya; misalnya, warna kuning mengandung Fe-oksida, warna merah mengandung Cu-oksida.
- b. Kekerasan : 7 (Skala Mohs)
- c. Berat jenis : 2,65
- d. Titik lebur : kurang lebih 1715^0C
- e. Bentuk kristal : hexagonal
- f. Panas spesifik : 0,185
- g. Konduktivitas panas : $12\text{--}100^0\text{C}$ (Suhala dan Arifin, 1997)

2.2.3 Keuntungan dan kelemahan penggunaan Limbah Sandblasting (*Silica fume*)

- Keuntungan penggunaan Limbah Sandblasting (*Silica fume*)
- a. Meningkatkan kuat tekan beton;
 - b. Meningkatkan kuat lentur beton;

- c. Memperbesar modulus elastisitas beton;
- d. Mengecilkan regangan beton;
- e. Meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan unsur kimia;
- f. Mencegah reaksi *alkali silica* dalam beton;
- g. Meningkatkan kepadatan (*density*) beton;
- h. Meningkatkan ketahanan terhadap *abrasi* dan korosi;
- i. Menyebabkan temperatur beton menjadi lebih rendah sehingga mencegah terjadinya retak pada beton.

➤ Kendala penggunaan Limbah Sandblasting (*Silica fume*)

Kendala-kendala yang ada dalam penggunaan silica fume antara lain seperti, handling/pelaksanaan, bahaya kesehata, air entrainment, plastic shringkage. Silica fume merupakan bahan sangat lembut dan mudah sekali terbang kena angin, maka perlu diperhatikan dalam pelaksanaan loading, penangkutan, peyimpanan dan pencampuran. Sehubungan dengan kesehatan, karena Silica Fume sangat halus, kemungkinan penghisap Silica Fume akan terjadi, oleh karena itu harus dilengkapi dengan alat pelindung pernafasan. Percobaan dilaboratorium dan lapangan menunjukkan bahwa penggunaan Silica Fume bertendensi terjadi plastic shrinkage cracks (Aicitin & Pinsonneault, 1981), oleh sebab itu perlu diadakan pencegahan dengan menutup permukaan beton yang dalam proses pengerasan, untuk mencegah penguapan akibat angin dan suhu.

2.3 Fly ash

2.3.1 Pengertian Fly Ash

Fly ash merupakan bagian dari sisa abu pembakaran yang berupa bubuk halus dan ringan yang diambil dari campuran gas tungku pembakaran menggunakan bahan batubara pada boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Fly ash diambil secara mekanik dengan sistem pengendapan elektrostatik (Hidayat, 1986)

Fly ash adalah mineral admixture yang berasal dari sisa pembakaran batubara yang tidak terpakai. Material ini mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik (Himawan dan Darma, 2000 : 25)

Dalam penelitian Ardha (2003), secara kimia fly ash merupakan material oksida anorganik yang mengandung silika dan alumina aktif karena sudah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Bersifat aktif yaitu dapat bereaksi dengan komponen lain dalam komposisinya untuk membentuk material baru (mulite) yang tahan terhadap suhu tinggi.

Fly ash memiliki butiran yang lebih halus daripada butiran semen dan mempunyai sifat hidrolik. Fly ash bila digunakan sebagai bahan tambah atau pengganti sebagian semen maka tidak sekedar menambah kekuatan mortar, tetapi secara mekanik fly ash ini akan mengisi ruang kosong (rongga) di antara butiran-butiran dan secara kimiawi akan memberikan sifat hidrolik pada kapur mati yang dihasilkan dari proses hidrasi, dimana mortar hidrolik ini akan lebih kuat daripada mortar udara (kapur mati dan air) (Suhud, 1993)

Dengan adanya tambahan air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh fly ash akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Pakar teknologi beton yang bermukim di Kanada (Malhotra, 2001) mempelopori riset penggunaan fly ash dalam proporsi cukup besar (hingga 60-65% dari total semen portland yang dibutuhkan) sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam proses pembuatan mortar.

Fly ash termasuk bahan pozzolan buatan karena sifatnya yang pozzolanik, partikel halus tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air sehingga membentuk senyawa yang bersifat mengikat. Fly ash dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti pemakaian sebagian semen, baik untuk adukan (mortar) maupun untuk campuran beton. Keuntungan lain dari pemakaian fly ash

adalah dapat meningkatkan ketahanan/keawetan mortar terhadap ion sulfat. (Hidayat,1986).

Dalam perkembangannya, fly ash tidak hanya digunakan untuk mengganti sebagian semen tetapi dapat juga digunakan sebagai pengganti seluruh semen. Dengan demikian fly ash difungsikan dengan bahan alkaline dan sebagai aktivatornya digunakan NaOH dan sodium silikat (Na_2SiO_3) sehingga terjadi proses polimerisasi yang selanjutnya dapat mengikat agregat-agregat.

2.3.2. Karakteristik *Fly Ash*

a. Karakteristik Kimia *Fly Ash*

Tabel 2.2. Tabel komposisi kimia *fly ash* dalam persen berat

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	LOI
52.16	36.08	8.4	1.38	0.12	1.91

Tabel 2.3. Tabel komposisi kimia fly ash tipe C (PLTU Paiton)

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji Fly Ash PLTU Paiton
1.	Berat Jenis	g / cm^3	1.43
2.	Kadar Air	% berat	0.20
3.	Hilang Pijar	% berat	0.43
4.	SiO_2	% berat	62.49
5.	Al_2O_3	% berat	6.36
6.	Fe_2O_3	% berat	16.71
7.	CaO	% berat	5.69
8.	MgO	% berat	0.79
9.	$\text{S}(\text{SO}_4)$	% berat	7.93

(Rahmi, 2005)

Tabel 2.4. Tabel persyaratan kandungan kimia fly ash

Senyawa	Kelas Campuran Mineral		
	F (%)	N (%)	C (%)
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70	70	50
SO_3	4	5	5
Moisture content	3	3	3
Loss of Ignition	10	6	6
Alkali Na_2O	1.5	1.5	1.5

(ASTM C 618-96 volume 04.02)

b. Karakteristik Fisik Fly Ash

Sifat fisik fly ash menurut *ACI Manual of Concrete Practice 1993 Parts 1 226.3R-6* adalah :

1. Specific gravity 2.2 – 2.8
2. Ukuran ϕ 1 mikron - ϕ 1 mm dengan kehalusan 70% - 80% lolos saringan no.200 (75 mikron)
3. Kehalusan :
 - % tertahan ayakan 0.075 mm : 3.5
 - % tertahan ayakan 0.045 mm : 19.3
 - % sampai ke dasar : 77.2

Tabel. 2.5. Tabel susunan sifat fisik fly ash

No.	Uraian	Kelas F (%)	Kelas C (%)
1.	Kehalusan sisa di atas ayakan 45 μm	34.0	34.0
2.	Indeks keaktifan pozolan dengan PC (kelas I) pada umur 28 hari	75.0	75.0
3.	Air	105.0	105.0
4.	Pengembangan dengan Autoclave	0.8	0.8

(ASTM C 618 – 91 (dalam husin, 1998))

Tabel 2.6. Tabel persyaratan fisik fly ash

No.	Persyaratan Fisika	Kelas Campuran Mineral		
		F (%)	N (%)	C (%)
1.	Jumlah yang tertahan ayakan 45 μm (ro.325)	34	34	34
2.	Indeks aktivitas kekuatan :			
	Dengan semen umur 7 hari	75	75	75
	Dengan semen umur 28 hari	75	75	75
3.	Kebutuhan air	115	105	105
4.	Autoclave ekspansi atau contraction	0.8	0.8	0.8
5.	Density	5	5	5
6.	% tertahan ayakan 45 μm	5	5	5

(ASTM C 618 – 96 volume 04.02)

2.3.3. Klasifikasi Jenis Fly Ash

Fly ash dapat dibedakan menjadi 3 jenis (*ACI Manual of Concrete Practice 1993 Parts 1 226.3R-3*), yaitu :

a. Kelas C

1. Fly ash yang mengandung CaO lebih dari 10%, dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub bitumen batubara.
2. Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 50%
3. Kadar Na_2O mencapai 10%
4. Pada campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari total berat binder.

b. Kelas F

1. Fly ash yang mengandung CaO kurang dari 10%, dihasilkan dari pembakaran anthrachite atau bitumen batubara.
2. Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70%
3. Kadar Na_2O < 5%

4. Pada campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari total berat binder.

c. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chert dan shales, tuff dan abu vulkanik, dimana bisa diproses melalui pembakaran atau tidak. Selain itu juga berbagai hasil pembakaran yang mempunyai sifat pozzolan yang baik.

Dari ketiga jenis fly ash di atas yang bisa digunakan sebagai geopolimer adalah jenis fly ash yang memiliki kandungan CaO rendah dan kandungan Si dan Al lebih dari 50% yaitu fly ash tipe C dan F karena Si dan Al merupakan unsur yang utama dalam terjadinya proses geopolimerisasi. Dari penelitian terdahulu (Kosnatha dan Prasetyo, 2007) geopolimer yang menggunakan fly ash tipe C menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan fly ash tipe F baik yang menggunakan curing dengan oven maupun pada suhu ruang.

2.3.4. Keuntungan dan kelemahan penggunaan *Fly Ash*

Keuntungan fly ash digunakan sebagai bahan pengganti sepenuhnya semen untuk patch repair karena sifatnya yang pozzolan yang dapat meningkatkan ketahanan / keawetan beton terhadap ion sulfat.

Fly ash cukup baik digunakan sebagai bahan ikat karena bahan penyusun utamanya adalah silikon dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3) dan kalsium (CaO) sedangkan magnesium, potasium, sodium, titanium dan sulfur juga ada tetapi dalam jumlah yang kecil. Oksida-oksida tersebut dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen ketika bereaksi dengan air. Clarence (1966:24) menjelaskan dengan pemakaian fly ash sebesar 20 – 30% terhadap berat binder maka jumlah binder akan berkurang secara signifikan dan dapat menambah kuat tekan mortar. Pengurangan jumlah binder akan menurunkan biaya material

sehingga efisiensi dapat ditingkatkan, sekaligus sebagai bentuk pemanfaatan limbah yang akan membantu menjaga kelestarian lingkungan.

Di samping kelebihan fly ash juga mempunyai kelemahan sebagai bahan mortar geopolimer diantaranya proses pengerasan dan penambahan kekuatan mortarnya agak lambat sehingga pemakaian fly ash kurang baik untuk pengerjaan mortar yang memerlukan waktu pengerasan dan kekuatan awal yang tinggi, pengendalian mutu sering dilakukan karena mutu fly ash sangat tergantung pada proses pembakaran (suhu) serta jenis batubara yang digunakan. (Husin,1998).

2.4 Alkali Activator (Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida)

Sodium silikat dan sodium hidroksida digunakan sebagai alkaline activator (Hardjito, et.al, 2004). Sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam fly ash sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

2.4.1. Sodium Silikat (Na_2SiO_3)

Sodium silikat merupakan salah satu bahan tertua dan yang paling aman yang sering digunakan di dalam industri kimia. Proses produksinya yang lebih sederhana menyebabkan sodium silikat berkembang dengan cepat sejak tahun 1818. Sodium silikat dapat dibuat dengan 2 proses yaitu proses kering dan proses basah. Pada proses kering, pasir (SiO_2) dicampur dengan sodium carbonate (Na_2SiO_3) atau dengan potassium carbonate (K_2CO_3) pada temperatur 1100 - 1200°C. Hasil reaksi tersebut menghasilkan kaca (cullets) yang dilarutkan ke dalam air dengan tekanan tinggi menjadi cairan yang kering dan agak kental. Sedangkan pada proses pembuatan basah, pasir (SiO_2) dicampur dengan sodium

hidroksida (NaOH) melalui proses filtrasi sehingga menghasilkan sodium silikat yang murni.

Sodium silikat terdapat dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan. Untuk campuran mortar lebih banyak digunakan sodium silikat dengan bentuk larutan. Sodium silikat pada mulanya digunakan sebagai campuran dalam pembuatan sabun. Tetapi dalam perkembangannya sodium silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, campuran cat serta dalam beberapa keperluan seperti kertas, tekstil dan serat. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa sodium silikat dapat digunakan untuk bahan campuran dalam beton (Hartono.F.,Budi.G.,2002). Dalam penelitian ini, sodium silikat digunakan sebagai alkali activator.

Sodium silikat ini merupakan salah satu larutan alkali yang berperan penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Reaksi terjadi secara cepat ketika larutan alkali banyak mengandung larutan silika seperti sodium silikat, dibandingkan reaksi yang terjadi akibat larutan alkali yang banyak mengandung larutan hidroksida.



Gambar 2.3 Larutan Na_2SiO_3

2.4.2. Sodium Hidroksida (NaOH)

Sodium hidroksida (NaOH), juga dikenal sebagai soda kaustik atau natrium hidroksida, adalah sejenis basa logam kaustik. Sodium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air. Digunakan di berbagai macam bidang industry, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan deterjen. Sodium hidroksida adalah basa yang paling umum digunakan dalam laboratorium kimia.

Sodium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pellet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50%. Bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbondioksida dari udara bebas. NaOH sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan. NaOH juga larut dalam etanol dan methanol, walaupun kelarutan NaOH dalam kedua cairan ini lebih kecil daripada kelarutan KOH. NaOH tidak larut dalam dietil eter dan pelarut non-polar lainnya. Larutan sodium hidroksida akan meninggalkan noda kuning pada kain dan kertas.

Sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam fly ash sehingga dapat menghasilkan ikatan polymer yang kuat. Sebagai activator, sodium hidroksida harus dilarutkan terlebih dahulu dengan air sesuai dengan molaritas yang diinginkan. Larutan ini harus dibuat dan didiamkan setidaknya 24 jam sebelum pemakaian. (Hardjito et.al,2005).



Gambar 2.4 Kristal NaOH dan Larutan NaOH(Cair)

2.5. Curing

Terdapat 2 macam metode perawatan beton geopolimer, yaitu dengan metode *ambient curing* dan metode *dry curing*. Untuk metode *ambient curing*, beton geopolimer dituangkan dalam cetakan dan didiamkan selama 24 jam pada suhu lingkungan. Setelah itu, beton geopolimer dikeluarkan dari cetakan dan kemudian dimasukkan ke dalam plastik kedap udara (*clipped plastic bag*) sampai tiba waktu pengujian. Untuk metode *dry curing*, beton geopolimer dituangkan dalam cetakan dan langsung dimasukkan ke dalam oven pada suhu 80°C selama 24 jam. Setelah itu, keluarkan beton geopolimer dari cetakan untuk selanjutnya dimasukkan ke dalam plastik kedap udara (*clipped plastic bag*) sampai tiba waktu pengujian. Dalam penelitian tersebut, metode *dry curing* menghasilkan kuat tekan yang lebih baik dibandingkan dengan metode *ambient curing* (Simatupang dkk, 2011).

2.6. Jenis – jenis pengujian

2.6.1. Setting Time

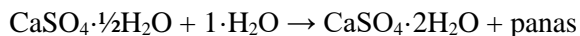
Setting time merupakan suatu pengujian untuk mengetahui berapa lama waktu pengikatan awal (mulai mengikat) dan pengikatan akhir (mulai mengeras) pasta *geopolymer*.

1. Waktu kerja (*Initial Setting Time*)

Waktu kerja atau waktu pengaturan awal adalah jangka waktu dari awal pencampuran sampai massa mencapai tahap setengah-keras dan ditandai dengan adanya reaksi *setting* sebagian.

2. Waktu *setting* akhir (*Final Setting Time*)

Waktu *setting* akhir adalah jangka waktu dari waktu pencampuran sampai massa menjadi keras dan bisa di pisahkan dari bahan pencetakan. Waktu *setting* akhir ditandai dengan adanya penyelesaian reaksi hydration dan melepaskan panas seperti pada reaksi berikut.



Menurut *Internasional Organization for Standarization-9694:1996*. Tes waktu atau *setting time* di lakukan dengan menggunakan jarum vicat. Pengujian ini mengacu pada standart *ASTM C 191 – 04*.



Gambar 2.5 Proses *setting time*

2.6.2. Porositas

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan volume pori (volume yang ditempati oleh fluida) terhadap volume total benda uji. Range pori pada umumnya terjadi akibat kesalahan dalam

pelaksanaan dan pengecoran seperti faktor air semen yang berpengaruh pada lekatan antara pasta semen. Pengujian porositas dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya porositas. Semakin besar porositas pada benda uji maka semakin rendah kekuatannya. Standar atau prosedur dalam menggunakan metode pengujian ini dapat mengacu pada *RILEM CPC 11.3*.

Porositas dapat dihitung dengan rumus :

$$P = \frac{W_1 - W_3}{W_1 - W_2} \times 100 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- P = Total Porositas (%)
- W_1 = Berat benda uji jenuh air di udara (gr)
- W_2 = Berat benda uji jenuh air di dalam air (gr)
- W_3 = Berat benda uji setelah dioven pada suhu 105°C selama 24 jam (gr)



Gambar 2.6 Uji Porositas

2.6.3. Kuat Tekan

Salah satu sifat mekanik yang digunakan sebagai parameter geopolimer adalah kuat tekan. Kuat tekan beton geopolimer dapat dipengaruhi oleh :

- Umur geopolimer
- Temperatur dan lama waktu curing
- Kadar air dalam geopolimer

Curing time dapat mempengaruhi kuat tekan beton geopolimer. Hasil penelitian membuktikan bahwa semakin lama proses curing, maka akan meningkatkan kuat tekan geopolimer. Sedangkan kandungan air dalam geopolimer yang semakin banyak akan mengurangi nilai kuat tekan geopolimer. Kandungan air dapat diperoleh dari natrium silikat yang mengandung H_2O serta hasil penguraian dari $NaOH$ menjadi Na_2O dan H_2O .

Kuat tekan silinder adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur apabila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan.

Nilai kuat tekan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

- Kuat Tekan individu:

$$f_{ci} = \frac{P}{A}$$

- Kuat Tekan Rata-rata:

$$f_{cr} = \sum_{i=1}^n f_{ci} \div n$$

Dimana :

P = Beban maksimum (kg).

A = Luas penampang benda uji (cm^2).

f_{ci} = Kuat tekan beton yang didapat dari hasil pengujian (kg/cm^2).

f_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata (kg/cm^2).

n = Jumlah benda uji.

Pengujian ini mengacu pada standart *ASTM C 39-04a* dan *AASHTO T22-15*¹.



Gambar 2.7 Uji Kuat Tekan

2.6.4. UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*)

Ultrasonic pulse velocity adalah metode yang digunakan untuk mengukur kecepatan hantaran dari gelombang (*pulse velocity*) ultrasonik pada media binder. Standar atau prosedur dalam menggunakan metode pengujian ini dapat mengacu pada *ASTM C 597-09*. Kecepatan gelombang ultrasonik dipengaruhi oleh kekakuan elastis dan kekuatan binder. Pada binder yang pemadatannya kurang baik, atau mengalami kerusakan butiran material, gelombang *UPV* akan mengalami penurunan kecepatan. Perubahan kekuatan binder pada tes *UPV* ditunjukkan dengan perbedaan kecepatan gelombangnya; jika turun, adalah tanda bahwa binder mengalami penurunan kekuatan, sebaliknya jika kecepatannya naik, adalah tanda bahwa kekuatan binder meningkat (Hamidian dkk, 2012). Whitehurst melakukan penelitian untuk mengetahui hubungan kecepatan gelombang dan kualitas binder, hasilnya seperti pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Klasifikasi Kualitas Beton Normal Berdasarkan Uji UPV

UPV (m/s)	Kualitas Beton
>4500	Sangat Baik
3500-4500	Baik
3000-3500	Cukup
<3000	Meragukan

Sumber : British Standar (BS) 1881-1986

**Gambar 2.8** Uji UPV

2.6.5. Permeability

Permeabilitas beton adalah kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Jika beton tersebut dapat dilalui air, maka beton tersebut dikatakan permeabel. Jika sebaliknya, maka beton tersebut dikatakan impermeabel. Maka sifat permeabilitas yang penting pada beton adalah permeabilitas terhadap air. Untuk mengetahui dan mengukur permeabilitas beton perlu dilakukan pengujian. Uji permeabilitas ini terdiri dari dua macam: uji aliran (flow test) dan uji penetrasi (Penetration test). Uji yang pertama digunakan untuk mengukur permeabilitas beton terhadap air bila ternyata air dapat mengalir melalui sampel beton. Uji penetrasi digunakan jika dalam percobaan permeabilitas tidak ada air yang mengalir melalui sampel. Dari data yang dihasilkan oleh uji

permeabilitas ini dapat ditentukan koefisien permeabilitas, suatu angka yang menunjukkan kecepatan rembesan fluida dalam suatu zat. Standar atau prosedur dalam menggunakan metode pengujian ini dapat mengacu pada *SN 505 252/1, Annex E*.

Tabel 2.8 Klasifikasi Kualitas Beton Normal berdasarkan uji *permeability*

Klasifikasi	Indeks	kT (10^{-16} m^2)
Sangat buruk	5	> 10
Buruk	4	1.0 - 10
Normal	3	0.1 – 1.0
Baik	2	0.01 – 0.1
Sangat baik	1	< 0.01

(Proceeq.com)



Gambar 2.9 Uji *Permeability*

2.6.6. SEM – EDX (*Scanning Electron Microscope*)

SEM-EDX adalah analisis energy dispersive x-ray yang dilakukan dengan menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) . Alat dipakai umumnya untuk aplikasi yang cukup bervariasi pada permasalahan eksplorasi dan produksi migas, termasuk didalamnya: Evaluasi kualitas batuan

reservoir melalui studi diagnosa yang meliputi identifikasi dan interpretasi keberadaan mineral dan distribusinya pada sistem porositas batuan. Investigasi permasalahan produksi migas seperti efek dari clay minerals, steamfloods dan chemical treatments yang terjadi pada peralatan pemboran, gravelpacks dan pada reservoir (Identifikasi dari mikrofosil untuk penentuan umur dan lingkungan pengendapan Taufik, 2008).

Instrumen ini sangat cocok untuk berbagai jenis investigasi. Hal ini mungkin untuk menyelidiki misalnya struktur serat kayu dan kertas, logam, permukaan fraktur, produksi cacat di karet dan plastic. Detail terkecil yang dapat dilihat pada gambar SEM adalah 4-5 nm (4-5 sepersejuta milimeter). Detail terkecil yang dapat dianalisis adalah pM 2-3 (2-3 seperseribu milimeter). Aplikasi dari teknik SEM – EDX dirangkum sebagai berikut:

1. Topografi: Menganalisa permukaan dan tekstur (kekerasan, reflektivitas dsb)
2. Morfologi: Menganalisa bentuk dan ukuran dari benda sampel
3. Komposisi: Menganalisa komposisi dari permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif

2.6.7. XRF (*X-Ray Fluorescence*)

X-Ray Fluorescence (XRF) adalah teknik analisis unsur yang membentuk suatu material dengan dasar interaksi sinar-X dengan material analit. Teknik ini banyak digunakan dalam analisa batuan karena membutuhkan jumlah sample yang relative kecil (sekitar 1 gram). Teknik ini dapat digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang terutama banyak terdapat dalam batuan atau mineral.

Apabila elektron dari suatu kulit atom bagian dalam dilepaskan, maka elektron yang terdapat pada bagian kulit luar akan berpindah pada kulit yang ditinggalkan tadi menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang yang karakteristik bagi unsure tersebut.

Pada teknik difraksi sinar-X suatu berkas elektron digunakan, sinar-X dihasilkan dari tembakan berkas elektron terhadap suatu unsur di anoda untuk menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang yang diketahui. Peristiwa ini terjadi pada tabung sinar-X. Pada teknik XRF, kita menggunakan sinar-X dari tabung pembangkit sinar-X untuk mengeluarkan electron dari kulit bagian dalam untuk menghasilkan sinar-X baru dari sample yang di analisis.

Seperti pada tabung pembangkit sinar-X, elektron dari kulit bagian dalam suatu atom pada sample analit menghasilkan sinar-X dengan panjang-panjang gelombang karakteristik dari setiap atom di dalam sample. Untuk setiap atom di dalam sample, intensitas dari sinar-X karakteristik tersebut sebanding dengan jumlah (konsentrasi) atom di dalam sample. Dengan demikian, jika kita dapat mengukur intensitas sinar -X karakteristik dari setiap unsure, kita dapat membandingkan intensitasnya dengan suatu standar yang diketahui konsentrasinya, sehingga konsentrasi unsure dalam sample bisa ditentukan.

Pemilihan filter didasarkan terhadap logam yang akan kita analisa dalam sampel. Filter berfungsi sebagai penyaring interferensi terhadap analisa.

2.6.8. XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD merupakan metode analisa nondestruktif yang didasarkan pada pengukuran radiasi sinar-X yang terdifraksi oleh bidang kristal ketika terjadi interaksi antara suatu materi dengan radiasi elektromagnetik sinar X. Suatu kristal memiliki kisi kristal tertentu dengan jarak antar bidang kristal (d) spesifik juga sehingga bidang kristal tersebut akan memantulkan radiasi sinar X dengan sudut-sudut tertentu.

Kegunaan metode difraksi sinar-X antara lain :

Penentuan struktur kristal :

1. Bentuk dan ukuran sel satuan kristal (d , sudut, dan panjang ikatan),
2. Pengindeks-an bidang kristal,
3. Jumlah atom per-sel satuan.

Analisis kimia :

1. Identifikasi/Penentuan jenis kristal
2. Penentuan kemurnian relatif dan derajat kristalinitas sampel
3. Deteksi senyawa baru dan kerusakan oleh suatu pelekatan.

Untuk interpretasi atau pembacaan spektra dengan membandingkan spektra yang berada pada induk data spektra XRD, misalnya pada data JCPDS. Untuk menyimpulkan minimal ada 3 puncak spektra yang identik dengan spektra pada data induk.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB III METODOLOGI

3.1. Umum

Metodologi sangat penting dan diperlukan dalam sebuah penelitian. Hal ini penting sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian. Penelitian ini meliputi tiga rangkaian penelitian, yaitu mencari literatur, eksperimen pendahuluan, dan eksperimen utama.

a) Mencari literatur

Sebelum melakukan penelitian kami mencari beberapa literatur yang berkaitan dengan *geopolymer*, Limbah Sandblasting (*Silica Fume*) dan larutan senyawa kimia lainnya. Sumber kami peroleh dari beberapa studi pustaka mengenai material yang akan digunakan sebagai bahan penelitian dan menentukan kebutuhan data apa saja yang akan digunakan pada *setting time*, *UPV*, *porosity* dan kuat tekan pada binder *geopolymer*.

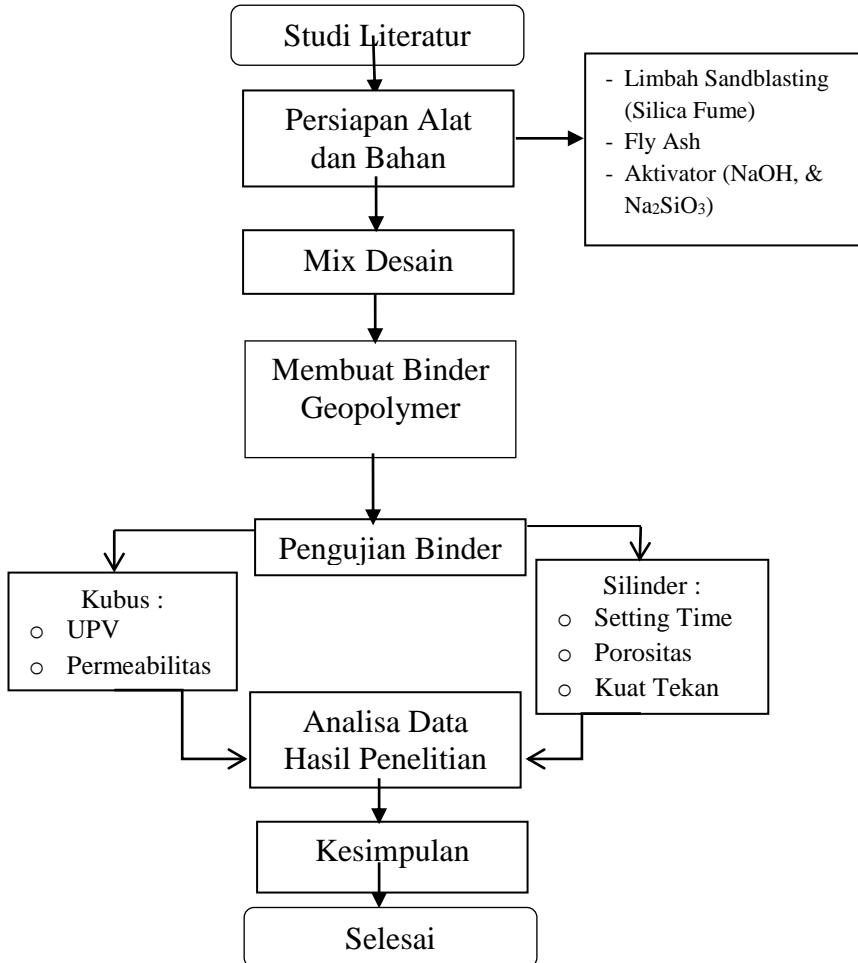
b) Desain Eksperimen

Desain eksperimen dilaksanakan dengan tujuan untuk mencari *setting time*, *UPV*, *porosity* dan kuat tekan binder *geopolymer* agar menghasilkan campuran yang dapat mengikat dengan baik.

c) Eksperimen Utama

Dalam eksperimen utama akan dicari hubungan dari hasil pengujian

3.2. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

**Gambar 3.1** Diagram Alur Penelitian

3.3. Persiapan Bahan dan Praktikum di Laboratorium

3.3.1. Fly Ash

Dalam penelitian ini digunakan *fly ash* sebagai material dasar untuk pembuatan geopolimer. *Fly ash* yang digunakan berasal dari PLTU (PJB) Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam *fly ash* tersebut, akan dilakukan tes XRD (*X-Ray Diffraction*) di Laboratorium.

3.3.2. Limbah Sandblasting (*Silica Fume*)

Limbah Sandblasting (*silica fume*) yang digunakan berasal dari PT Swadaya Graha, Gresik, Jawa Timur adalah parbrik vabrikasi baja dan besi, yang lolos ayakan No.200 dan sudah di oven pada suhu $\pm 105^0$ C.

3.3.3. Uji Komposisi Fly Ash dan Limbah Sandblasting

Komposisi *fly ash* dan Limbah Sandblasting (*silica fume*) dapat diketahui melalui uji yang XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM – EDX (*Scanning Electron Microscope*) dan XRF (*X-Ray Fluoresence*) dimana *fly ash* dan Limbah Sandblasting (*silica fume*) yang mengandung kadar oksida tinggi yang bisa dibuat binder dan beton *geopolymer*. Hal ini dimaksudkan agar bahan tersebut bisa bereaksi membentuk suatu reaksi polimerisasi dengan aktivatornya.

3.3.4. Jenis Alkali Aktivator

Jenis alkali aktivator yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH). Larutan sodium hidroksida yang digunakan yaitu larutan NaOH 12 M.

Cara membuat membuat 1 liter larutan NaOH 12 M adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kebutuhan NaOH yang akan digunakan.

$$\begin{aligned} n &= M \times v \\ &= 1 \text{ liter} \times 12 \text{ mol/liter} \\ &= 12 \text{ mol} \end{aligned}$$

Dimana :

n = jumlah mol zat terlarut

M = kemolaran larutan

v = volume larutan

$M_r \text{ NaOH} = 40$ (penjumlahan A_r dari unsur-unsur penyusun senyawa yaitu, $\text{Na}=23$, $\text{O}=16$, $\text{H}=1$)

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= n \text{ mol} \times M_r \\ &= 12 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol} \\ &= 480 \text{ gram.} \end{aligned}$$

2. Menimbang NaOH seberat 480 gram.
3. Memasukkan aquades ke dalam labu ukur sampai volume 1 liter.
4. Aduk hingga larut.
5. Diamkan selama 24 jam*(Larutan NaOH dapat digunakan setelah didiamkan selama 24 jam).

3.4. Mix Desain Benda Uji Geopolimer

Rencana komposisi bahan berdasarkan hasil literatur,digunakan komposisi sebagai berikut :

1. Kadar Sodium Hidroksida (NaOH) 12M.
2. Perbandingan antara Sodium Silikat (Na_2SiO_3) dan Sodium Hidroksida (NaOH) adalah 0,5 dan 1,5.
3. Massa *Fly Ash* dan Limbah Sandbasting (*Silica Fume*) dengan massa aktivator sebagai berikut :
 - Untuk 100% *Fly Ash* adalah 74% sedangkan massa aktivator 26%.
 - Untuk campuran *Fly Ash* (50%) + Sandblast (50%) adalah 80% sedangkan massa aktivator 20%.
- ❖ Benda uji tambahan silinder (untuk kuat tekan umur 3 dan 28 hari).

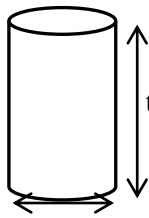
- Untuk campuran *Fly Ash* (75%) + Sandblast (25%) adalah 80% sedangkan massa aktivator 20%.
- Untuk campuran *Fly Ash* (25%) + Sandblast (75%) adalah 80% sedangkan massa aktivator 20%.

4. Binder dibuat dengan ukuran 2,5 cm x 5 cm (silinder) dan 15 cm x 15 cm x 5 cm (kubus).

3.4.1 Perhitungan Mix Desain Benda Uji

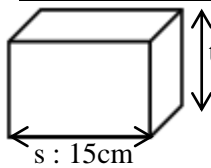
Mix desain silinder binder geopolimer ukuran 2,5 x 5 cm dan kubus ukuran 15 x 15 x 5 cm sebagai berikut :

➤ Massa 1 silinder geopolimer ukuran 2,5 x 5 cm



Volume 1 silinder = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 2,5^2 \times 5$
 $= 24,544 \text{ cm}^3$
 t : 5cm Massa jenis (ρ) beton : $2,4 \text{ gr/cm}^3$
 Massa 1 binder = $\rho \times \text{volume silinder}$
 $= 2,4 \text{ gr/cm}^3 \times 24,544 \text{ cm}^3$
 $= 58,905 \text{ gram}$
 d : 2,5 cm

➤ Massa 1 kubus gopolimer ukuran 15 x 15 x 5 cm



t : 5cm Massa jenis (ρ) beton : $2,4 \text{ gr/cm}^3$
 Volume 1binder = $s \times s \times t$
 $= 15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 5\text{cm}$
 $= 1125 \text{ cm}^3$
 Massa 1 binder = $\rho \times \text{volume kubus}$
 $= 2,4 \text{ gr/cm}^3 \times 1125 \text{ cm}^3$
 $= 2700 \text{ gr}$
 s : 15cm

Untuk perhitungan silinder komposisi 100% *Fly Ash* :

Massa *Fly Ash* = $74\% \times \text{massa 1 binder}$
 $= 74\% \times 58,905 \text{ gram}$
 $= 41,2335 \text{ gram}$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa aktivator} &= 26\% \times \text{massa 1 binder} \\
 &= 26\% \times 58,905 \text{ gram} \\
 &= 15,3153 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

- Massa aktivator = massa sodium silikat (Na_2SiO_3) + massa sodium hidroksida (NaOH)

Untuk menentukan berapa besaran massa massa sodium silikat (Na_2SiO_3) dan massa sodium hidroksida (NaOH) yang digunakan, dapat dihitung dengan menggunakan perbandingan sebagai berikut :

- ♦ Perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} = 0,5$

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 0,5 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 = 0,5 \text{ NaOH}$$

$$\begin{aligned}
 15,3153 \text{ gram} &= \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH} \\
 15,3153 \text{ gram} &= 0,5 \text{ NaOH} + \text{NaOH} \\
 15,3153 \text{ gram} &= 1,5 \text{ NaOH} \\
 \text{NaOH} &= 10,21 \text{ gram} \\
 \text{Na}_2\text{SiO}_3 &= 5,105 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

- ♦ Perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} = 1,5$

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1,5 \text{ NaOH}$$

$$\begin{aligned}
 15,3153 \text{ gram} &= \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH} \\
 15,3153 \text{ gram} &= 1,5 \text{ NaOH} + \text{NaOH} \\
 15,3153 \text{ gram} &= 2,5 \text{ NaOH} \\
 \text{NaOH} &= 6,126 \text{ gram} \\
 \text{Na}_2\text{SiO}_3 &= 9,189 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

3.4.2 Data – data Perhitungan Mix Desain (Keseluruhan)

➤ Silinder 2,5 cm x 5 cm

Komposisi Binder Geopolimer	Massa 1 Binder (gram)	Fly Ash (gram)	Larutan NaOH (gram)	Na ₂ SiO ₃ (gram)
FA 12M-0,5	58,905	43,59	10,21	5,11
FA 12M-1,5	58,905	43,59	6,13	9,19

Tabel 3.1 Komposisi Binder Geopolimer Fly Ash (100%) perbandingan massa Fly ash (74%) dan massa aktivator (24%)

Komposisi Binder Geopolimer	Massa 1 Binder (gram)	Fly ash (50%) + Sandblast(50%) (gram)	Larutan NaOH (gram)	Na ₂ SiO ₃ (gram)
FA+SB 12M-0,5	58,905	FA = 23,562 SB = 23,562	7,85	4,71
FA+SB 12M-1,5	58,905	FA = 23,562 SB = 23,562	3,93	7,07

Tabel 3.2 Komposisi Binder Geopolimer Fly Ash (50%) + Sandblast (50%) perbandingan massa Fly Ash+ Sandblast (80%) dan massa aktivator (20%)

Komposisi Binder Geopolimer	Massa 1 Binder (gram)	Fly ash (75%) + Sandblast(25%) (gram)	Larutan NaOH (gram)	Na ₂ SiO ₃ (gram)
FA+SB 12M-0,5	58,905	FA = 35,343 SB = 11,781	7,85	4,71
FA+SB 12M-1,5	58,905	FA = 35,343 SB = 11,781	3,93	7,07

Tabel 3.3 Komposisi Binder Geopolimer Fly Ash (75%) + Sandblast (25%) perbandingan massa Fly Ash+ Sandblast (80%) dan massa aktivator (20%)

Komposisi Binder Geopolimer	Massa 1Binder (gram)	Fly ash (25%) +Sandblast(75%) (gram)	Larutan NaOH (gram)	Na ₂ SiO ₃ (gram)
FA+SB 12M-0,5	58,905	FA = 11,781 SB = 35,343	7,85	4,71
FA+SB 12M-1,5	58,905	FA = 11,781 SB = 35,343	3,93	7,07

Tabel 3.4 Komposisi Binder Geopolimer Fly Ash (25%) + Sandblast (75%) perbandingan massa Fly Ash+ Sandblast (80%) dan massa aktivator (20%)

➤ **Kubus 15 x 15 x 5 cm**

Komposisi Binder Geopolimer	Massa 1Binder (gram)	Fly ash (100%) (gram)	Larutan NaOH (gram)	Na ₂ SiO ₃ (gram)
FA12M-0,5	2700	1998	468	234
FA12M-1,5	2700	1998	281	421

Tabel 3.5 Komposisi Binder Geopolimer Fly Ash (100%) perbandingan massa Fly ash (74%) dan massa aktivator (24%)

Komposisi Binder Geopolimer	Massa 1 Binder (gram)	Fly ash (50%) +Sandblast(50%) (gram)	Larutan NaOH (gram)	Na ₂ SiO ₃ (gram)
FA+SB 12M-0,5	2700	FA = 1080 SB = 1080	360	216
FA+SB 12M-1,5	2700	FA = 1080 SB = 1080	180	324

Tabel 3.6 Komposisi Binder Geopolimer Fly Ash (50%) + Sandblast (50%) perbandingan massa diguFly Ash+ Sandblast (80%) dan massa aktivator (20%)

- Untuk kode penamaan benda uji yang digunakan sebagai berikut :
 1. FA12-3;0,5 adalah *Fly Ash* dengan molaritas 12M,umur benda uji 3hari dan perbandingan aktivator 0,5.

2. FA12-28;0,5 adalah *Fly Ash* dengan molaritas 12M,umur benda uji 28 hari dan perbandingan aktivator 0,5.
3. FA12-56;0,5 adalah *Fly Ash* dengan molaritas 12M,umur benda uji 56 hari dan perbandingan aktivator 0,5.
4. FA12-3;1,5 adalah *Fly Ash* dengan molaritas 12M,umur benda uji 3hari dan perbandingan aktivator 1,5.
5. FA12-28;1,5 adalah *Fly Ash* dengan molaritas 12M,umur benda uji 28 hari dan perbandingan aktivator 1,5.
6. FA12-56;1,5 adalah *Fly Ash* dengan molaritas 12M,umur benda uji 56 hari dan perbandingan aktivator 1,5.
7. FA+SB12-3;0,5 adalah *Fly Ash* + Sandblast dengan molaritas 12M,umur benda uji 3 hari dan perbandingan aktivator 0,5.
8. FA+SB12-28;0,5 adalah *Fly Ash* + Sandblast dengan molaritas 12M,umur benda uji 28 hari dan perbandingan aktivator 0,5.
9. FA+SB12-56;0,5 adalah *Fly Ash* + Sandblast dengan molaritas 12M,umur benda uji 56 hari dan perbandingan aktivator 0,5.
10. FA+SB12-3;1,5 adalah *Fly Ash* + Sandblast dengan molaritas 12M,umur benda uji 3 hari dan perbandingan aktivator 1,5.
11. FA+SB12-28;1,5 adalah *Fly Ash* + Sandblast dengan molaritas 12M,umur benda uji 28 hari dan perbandingan aktivator 1,5.
12. FA+SB12-56;0,5 adalah *Fly Ash* + Sandblast dengan molaritas 12M,umur benda uji 56 hari dan perbandingan aktivator 1,5.

3.5 Pembuatan Benda Uji Binder Geopolimer

Setelah perhitungan mix desain, maka selanjutnya akan dilakukan pembuatan binder geopolimer. Untuk setiap komposisi silinder, masing-masing 6 benda uji sedangkan untuk komposisi kubus masing-masing 3 benda uji pada umur 3, 28 dan 56 hari. Sebelum proses pembuatan binder geopolimer ada dua tahap yang harus dilakukan antara lain :

1. Persiapan alat

Alat yang digunakan dalam pembuatan benda uji silinder dan kubus geopolimer antara lain sebagai berikut :




No	Nama Alat	Gambar Alat	Kegunaan
1.	Loyang / Cawan		Sebagai wadah bahan pada saat menimbang / proses pembuatan binder.
2.	Timbangan digital		Menimbang bahan / benda uji dalam skala kecil, yaitu ≤ 5 kg.
3.	Cetakan binder geopolimer 2,5 x 5 cm		Sebagai cetakan benda uji

4	Cetakan kubus geopolimer		Sebagai cetakan benda uji
---	--------------------------	---	---------------------------

Tabel 3. 7 Alat Pembuatan Benda Uji Geopolimer

2. Persiapan bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji silinder dan kubus geopolimer antara lain sebagai berikut :

No .	Nama Alat	Gambar Bahan	Kegunaan
1.	Limbah Sandblasting (<i>silica fume</i>)		Bahan pembuatan binder geopolimer
2.	<i>Fly ash</i>		Bahan pembuatan binder geopolimer
3.	NaOH		Sebagai aktivator

4.	Na_2SiO_3		Sebagai aktivator
----	---------------------------	---	-------------------

Tabel 3. 8 Bahan Pembuatan Benda Uji Geopolimer

3. Pembuatan Benda Uji Binder Geopolimer

Proses pencampuran dilakukan setelah melakukan proses desain, dimana komposisi berat tiap pasta telah ditentukan sesuai dengan kriteria yang diinginkan. Proses pencampuran meliputi rangkaian kegiatan berikut ini :

- I. Memasukkan *fly ash* dan atau sandblast kedalam mixer sesuai dengan dengan komposisi yang telah dihitung.



Gmbar 3.2 Memasukkan Fly Ash atau Sandblast Kedalam Mixer

- II. Membuat larutan alkali aktivator. Masukkan Sodium Silikat yang sudah diukur sesuai perhitungan kedalam timba lalu masukan Sodium Hidroksida kedalam timba yang sudah berisi Sodium Silikat, aduk hingga kedua larutan tersebut menjadi homogen (biasanya ditandai dengan kenaikan suhu), kemudian tunggu sampai larutan aktivator dingin.
- III. Masukkan alkali aktivator ke dalam mixer yg berisi *fly ash* dan atau sandblast , nyalakan hingga kedua larutan tersebut dalam kondisi homogen.

- IV. Setelah campuran sudah menjadi homogen, tuangkan larutan tersebut ke dalam cetakan silinder dan juga cetakan kubus.
- V. Setelah 24 jam buka cetakan (silinder maupun kubus), kemudian simpan binder geopolimer pada suhu ruang dengan variasi umur yaitu 3 hari, 28 hari dan 56 hari.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Umum

Pada bab ini akan diuraikan mengenai hasil-hasil dan analisa selama pengerjaan tugas akhir di laboratorium mengenai binder geopolimer.

Metode hasil dan analisa data ini akan disajikan dalam bentuk table, grafik dan pembahasan.

4.2 Hasil Uji Material

Adapun hasil uji material yang digunakan adalah sebagai berikut :

4.2.1 Fly Ash

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* berasal dari PLTU Paiton, Probolinggo. Adapun tes yang dilakukan terhadap material *fly ash* adalah tes uji komposisi senyawa kimia *SEM-EDX* yang dilakukan di Laboratorium Energi LPPM ITS, serta uji *XRF* dan *XRD* dilakukan di PT. Semen Indonesia, untuk hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran.

Pada pengujian *XRF*, hasil yang didapat adalah Si, Al, dan Fe > 70% sedangkan CaO < 10%, maka dari jenis yang terkandung adalah *fly ash* tipe F.

4.2.2 Limbah Sandblasting (*Silica Fume*)

Limbah Sandblasting (*silica fume*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah sandblast dari PT. Swadaya Graha, Gresik perusahaan yang bergerak pada bidang fabrikasi besi dan baja. Adapun tes yang dilakukan pada sandblast sama dengan pengujian material *fly ash* yaitu *SEM-EDX* yang dilakukan di Laboratorium Energi LPPM ITS, serta uji *XRF*

dan *XRD* dilakukan di PT. Semen Indonesia, Gresik. Untuk hasil pengujian dapat dilihat di lampiran.

Pada pengujian *XRF*, hasil yang didapat adalah kandungan Si, Al, dan Fe < 50% sedangkan CaO < 5%.

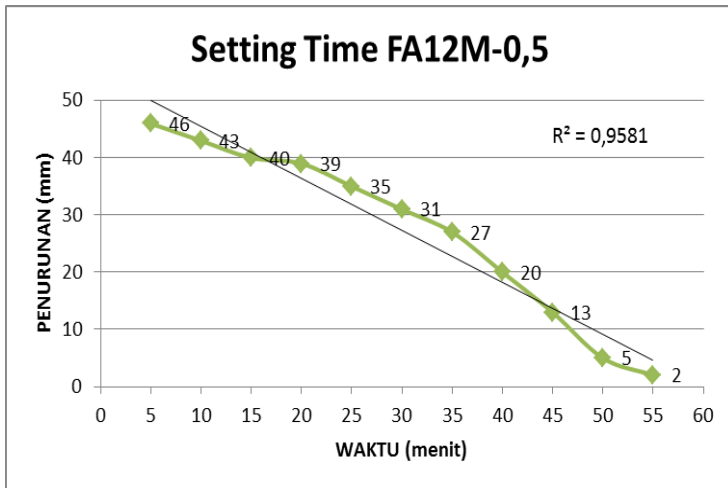
4.3 Hasil Pengujian Binder Geopolimer

4.3.1 *Setting Time*

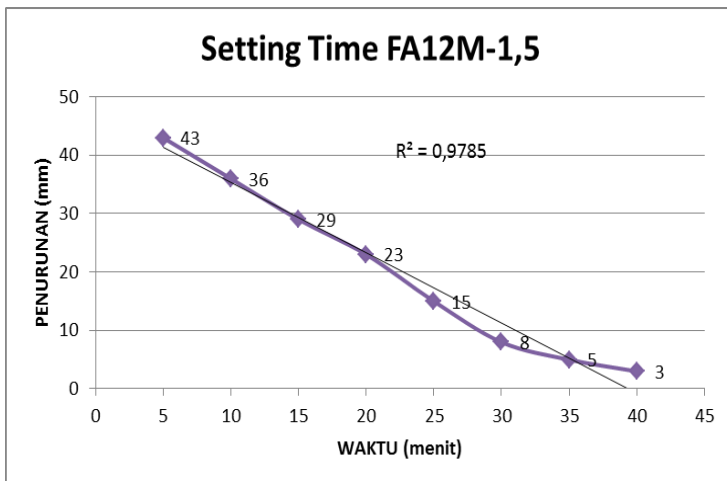
A. *Fly Ash (100%)*

Tabel 4.1 Hasil *setting time fly ash* binder geopolimer

No	Kode	Waktu (menit)	Penurunan (mm)
1.	FA 12M-0,5 74 : 26	5	46
		10	43
		15	40
		20	39
		25	35
		30	31
		35	27
		40	20
		45	13
		50	5
		55	2
Rata-rata		30	27,364
No	Kode	Waktu	Penurunan
2.	FA 12M-1,5 74 : 26	5	43
		10	36
		15	29
		20	23
		25	15
		30	8
		35	5
		40	3
Rata-rata		22,5	20,250



Grafik 4.1 Hasil setting time binder geopolimer Fly Ash 12M-0,5



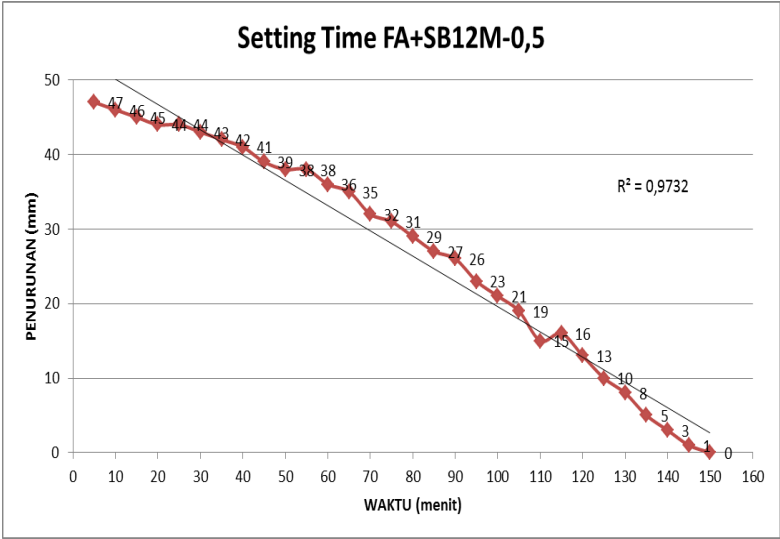
Grafik 4.2 Hasil setting time binder geopolimer Fly Ash 12M-1,

B. Fly Ash (50%) + Limbah Sandblasting (50%)**Tabel 4.2** Hasil *setting time fly ash*(50%) + Limbah Sandblasting (50%) 12M-0,5

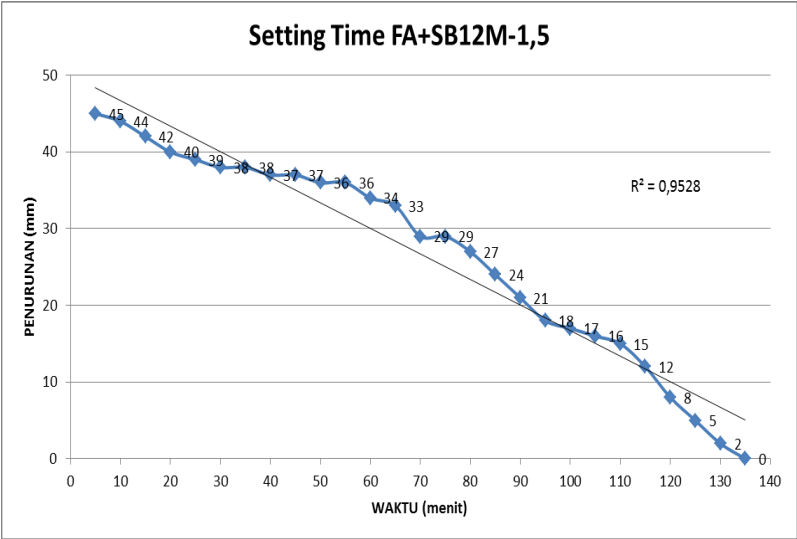
No	Kode	Waktu (menit)	Penurunan (mm)
1.	FA+SB 12M-0,5 80 : 20	5	47
		10	46
		15	45
		20	44
		25	44
		30	43
		35	42
		40	41
		45	39
		50	38
		55	38
		60	36
		65	35
		70	32
		75	31
		80	29
		85	27
		90	26
		95	23
		100	21
		105	19
		110	15
		115	16
		120	13
		125	10
		130	8
		135	5
		140	3
		145	1
		150	0
	Rata-rata	77,5	27,233

Tabel 4.3 Hasil *setting time fly ash*(50%) + Limbah Sandblasting (50%) 12M-1,5

No	Kode	Waktu	Penurunan
2.	FA+SB 12M-1,5 80 : 20	5	45
		10	44
		15	42
		20	40
		25	39
		30	38
		35	38
		40	37
		45	37
		50	36
		55	36
		60	34
		65	33
		70	29
		75	29
		80	27
		85	24
		90	21
		95	18
		100	17
		105	16
		110	15
		115	12
		120	8
		125	5
		130	2
		135	0



Grafik 4.3 Hasil setting time fly ash (50%) + Limbah Sandblasting (50%) 12M-0,5

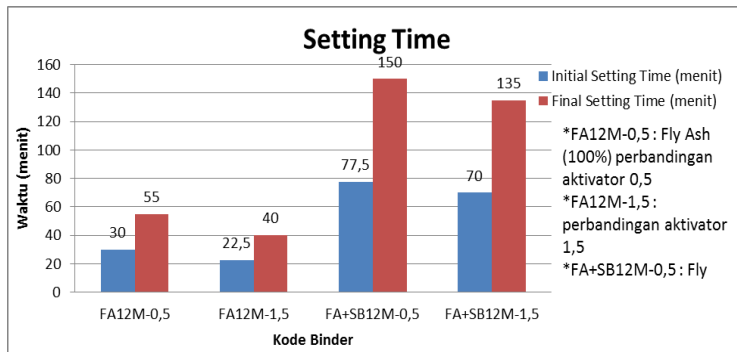


Grafik 4.4 Hasil setting time fly ash (50%) + Limbah Sandblasting (50%) 12M-1,5

C. Rekapitulasi Data *Setting Time*

Tabel 4.4 Hasil *setting time* dari benda uji binder geopolimer secara keseluruhan

No.	Kode Binder	Initial Setting Time (menit)	Final Setting Time (menit)
1.	FA12M-0,5	30	55
2.	FA12M-1,5	22,5	40
3.	FA+SB12M-0,5	77,5	150
4.	FA+SB12M-1,5	70	135



Grafik 4.5 Hasil *setting time* dari benda uji binder geopolimer keseluruhan

✚ Analisa data *setting time* :

- Pada komposisi perbandingan massa larutan NaOH dan Na_2SiO_3 1,5 cenderung *setting time* lebih cepat dibandingkan dengan perbandingan 0,5 terjadi pada komposisi *fly ash* (100%) maupun komposisi *fly ash* (50%) + sandblast (50%).
- Untuk komposisi *fly ash* (100%) *setting time* lebih cepat dibandingkan dengan komposisi *fly ash* (50%) + sandblast (50%).

4.3.2 Tes Porositas

Tes porositas merupakan tes untuk mengetahui kadar pori dari suatu benda uji, dimana semakin besar kadar porinya maka semakin rendah kekuatan benda uji. Berikut adalah hasil dan analisa dari tes porositas :

A. Fly Ash (100%)

Tabel 4.5 Hasil porositas *fly ash* perbandingan aktivator 0,5

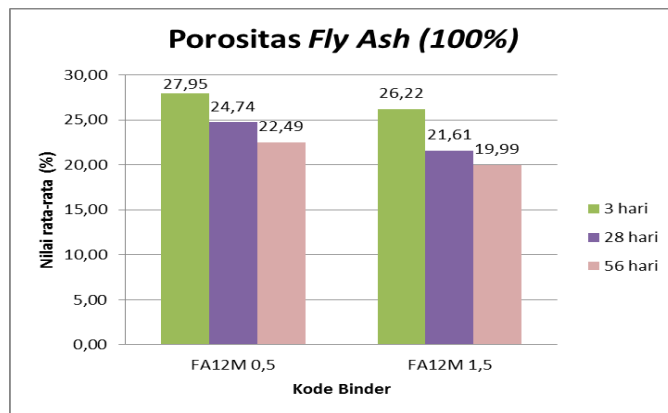
No	Kode	Umur	Berat benda uji awal (gr)	[Wsa] (gr)	[Wsw] (gr)	[Wd] (gr)	P = ((Wsa-Wd)/(Wsa- Wsw))x100 (%)
1	FA12-0,5 74 : 26	3 hari	54,792	54,9	27,4	47,199	28,00
			55,912	55,7	28,1	48,094	27,56
			54,767	54,8	27,7	47,135	28,28
	RATA-RATA						27,95
2	FA12-0,5 74 : 26	28 hari	49,181	50,4	24,9	43,947	25,31
			49,137	50,1	25	43,928	24,59
			49,799	50,6	25,5	44,496	24,32
	RATA-RATA						24,74

3	FA12-0,5 74 : 26	56 hari	46,02	47,81	22,5	42,32	21,69
			47,23	47,98	21,3	41,7	23,54
			46,84	47,66	21,5	41,84	22,25
	RATA-RATA						22,49

Tabel 4.6 Hasil porositas *fly ash* perbandingan aktivator 1,5

No	Kode	Umur	Berat benda uji awal (gr)	[Wsa] (gr)	[Wsw] (gr)	[Wd] (gr)	Porositas P = ((Wsa- Wd)/(Wsa- Wsw))x100 (%)
1	FA12-1,5 74 : 26	3 hari	52,99	53,12	27,1	46,23	26,48
			54,49	54,45	27,9	47,57	25,91
			52,78	52,72	27,1	45,99	26,27
	RATA-RATA						26,22
2	FA12-1,5 74 : 26	28 hari	52,57	53,17	27,6	47,48	22,25
			46,19	46,68	23,7	41,84	21,06
			46,14	46,63	23,9	41,74	21,51

	RATA-RATA						21,61
3	FA12-1,5 74 : 26	56 hari	46,67	46,92	24,6	42,22	21,1
			46,78	47,04	21,4	42,32	18,4
			47,79	48,06	24,6	43,25	20,5
	RATA-RATA						19,99



Grafik 4.6 Hasil porositas fly ash (100%)

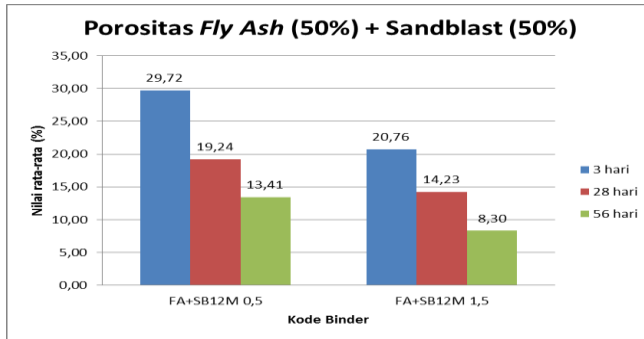
B. Fly Ash (50%) + Limbah Sandblasting (50%)

Tabel 4.7 Hasil porositas *fly ash* (50%) + sandblast (50%) perbandingan aktivator 0,5

No	Kode	Umur	Berat benda uji awal (gr)	[Wsa] (gr)	[Wsw (gr)	[Wd] (gr)	P = ((Wsa- Wd)/(Wsa- Wsw))x100 (%)
1	FA(50%)+SB(50%) 12M-0,5 80 : 20	3 hari	50,55	51,09	28,30	44,14	30,51
			51,09	51,62	26,50	44,56	28,11
			50,92	51,39	27,80	44,18	30,56
	RATA-RATA						29,72
2	FA(50%)+SB(50%) 12M-0,5 80 : 20	28 hari	49,94	49,27	26,20	44,90	18,94
			50,56	49,81	27,00	45,21	20,16
			53,12	52,51	28,00	47,95	18,60
	RATA-RATA						19,24
3	FA(50%)+SB(50%) 12M-0,5 80 : 20	56 hari	52,79	51,60	26,40	48,12	13,82
			53,06	52,43	26,90	48,95	13,64
			53,81	52,11	26,80	48,88	12,76
	RATA-RATA						13,41

Tabel 4.8 Hasil porositas *fly ash* (50%) + sandblast (50%) perbandingan aktivator 1,5

No	Kode	Umur	Berat benda uji awal (gr)	[Wsa] (gr)	[Wsw] (gr)	[Wd] (gr)	P = ((Wsa-Wd)/(Wsa-Wsw))x100 (%)
1	FA(50%)+SB(50%)	3 hari	54,72	54,56	29,10	49,50	19,87
	12M-1,5		52,98	52,78	28,20	47,60	21,08
	80 : 20		55,10	54,92	29,20	49,44	21,32
	RATA-RATA						20,76
2	FA(50%)+SB(50%)	28 hari	53,78	51,40	29,03	49,07	10,42
	12M-1,5		51,70	51,30	29,00	47,62	16,50
	80 : 20		52,97	52,51	29,10	48,82	15,76
	RATA-RATA						14,23
3	FA(50%)+SB(50%)	56 hari	51,60	52,79	27,10	50,02	10,79
	12M-1,5		52,43	53,06	27,40	51,34	6,69
	80 : 20		52,11	53,81	27,80	51,88	7,41
	RATA-RATA						8,30

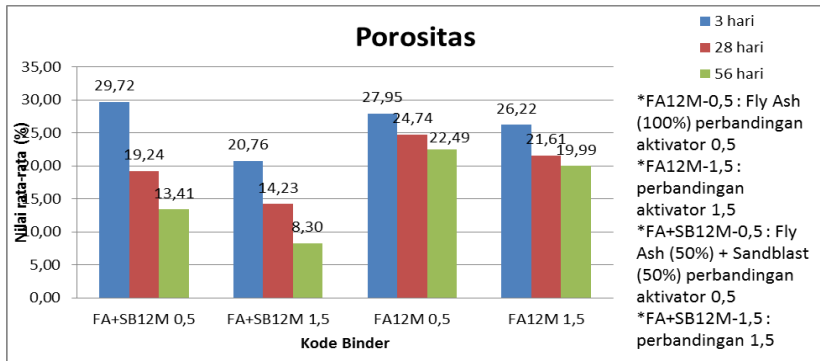


Grafik 4.7 Hasil porositas fly ash (50%) + sandblast (50%)

C. Rekapitulasi Data Porositas

Tabel 4.9 Hasil porositas dari benda uji binder geopolimer secara keseluruhan.

Umur	FA+SB12M 0,5	FA+SB12M 1,5	FA12M 0,5	FA12M 1,5
3 hari	29,72	20,76	27,95	26,22
28 hari	19,24	14,23	24,74	21,61
56 hari	13,41	8,30	22,49	19,99



Grafik 4.8 Hasil porositas dari benda uji binder geopolimer secara keseluruhan.

✚ Analisa data porositas :

- Hasil porositas perbandingan aktivator 0,5 lebih tinggi dibandingkan dengan perbandingan aktivator 1,5 terjadi pada komposisi *fly ash* (100%) maupun komposisi *fly ash* (50%) + sandblast (50%).
- Dari data diatas hasil keseluruhan,porositas tertinggi terjadi pada komposisi *fly ash* (100%) perbandingan 0,5 umur 3hari dengan nilai rata-rata 27,95%. Sedangkan paling kecil terjadi pada komposisi *fly ash* (50%) + sandblast (50%) perbandingan 1,5 umur 56hari dengan nilai rata-rata 8,30%.

4.3.3 Tes Kuat Tekan

Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui hasil kuat tekan masing-masing komposisi binder. Tes dilakukan pada binder umur 3, 28 dan 56 hari di Laboratorium Struktur, Teknik Sipil, FTSP – ITS. Berikut hasil dari pengujian kuat tekan :

A. *Fly Ash* (100%)

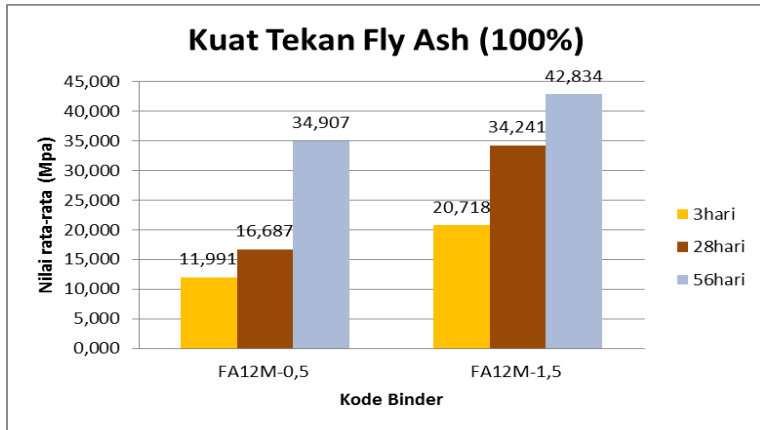
Tabel 4.10 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (100%) perbandingan aktivator 0,5

Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm ²)	Kuat Tekan $F = P/A$ (Kg/cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
3 Hari	FA (100%)	1	500	4,91	101,859	9,992
	12M-0,5	2	420	4,91	85,562	8,394
	74 : 26	3	880	4,91	179,272	17,587
Rata-rata						11,991
Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm ²)	Kuat Tekan $F = P/A$ (Kg/cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
28 Hari	FA (100%)	1	775	4,91	157,882	15,488
	12M-0,5	2	885	4,91	180,291	17,687
	74 : 26	3	845	4,91	172,142	16,887
Rata-rata						16,687

Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm ²)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
56 Hari	FA (100%)	1	2120	4,91	431,883	42,368
	12M-0,5	2	1090	4,91	222,053	21,783
	74 : 26	3	2030	4,91	413,548	40,569
Rata-rata						34,907

Tabel 4.11 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (100%) perbandingan aktivator 1,5.

Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm ²)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
3 Hari	FA(100%)	1	990	4,91	201,681	19,785
	12M-1,5	2	870	4,91	177,235	17,387
	74 : 26	3	1250	4,91	254,648	24,981
Rata-rata						20,718
Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm ²)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
28 Hari	FA(100%)	1	1530	4,91	311,689	30,577
	12M-1,5	2	1590	4,91	323,912	31,776
	74 : 26	3	2020	4,91	411,511	40,369
Rata-rata						34,241
Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm ²)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
56 Hari	FA(100%)	1	2350	4,91	478,738	46,964
	12M-1,5	2	1900	4,91	387,065	37,971
	74 : 26	3	2180	4,91	444,106	43,567
Rata-rata						42,834



Grafik 4.9 Hasil kuat tekan *Fly Ash* (100%)

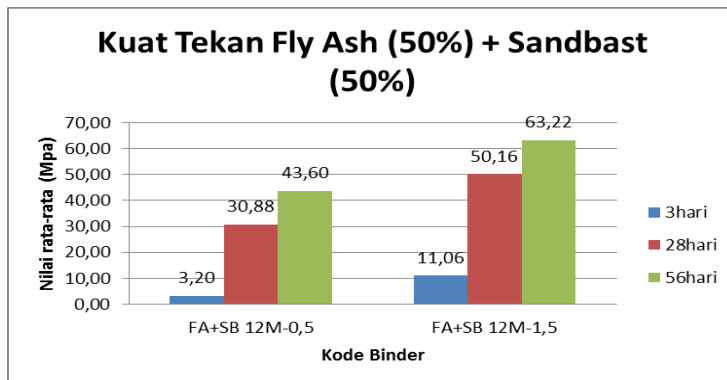
B. *Fly Ash* (50%) + Limbah Sandblasting (50%)

Tabel 4.12 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (50%) + sandblast (50%) perbandingan aktivator 0,5.

Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
3 Hari	FA(50%)+SB(50%) 12M-0,5 80 : 20	1	110	4,91	22,409	2,198
		2	170	4,91	34,632	3,397
		3	200	4,91	40,744	3,997
Rata-rata						3,198
Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
28 Hari	FA(50%)+SB(50%) 12M-0,5 80 : 20	1	1685	4,91	343,265	33,674
		2	1410	4,91	287,243	28,179
		3	1540	4,91	313,726	30,777
Rata-rata						30,876
Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
56 Hari	FA(50%)+SB(50%) 12M-0,5 80 : 20	1	2015	4,91	410,492	40,269
		2	1810	4,91	368,730	36,172
		3	2720	4,91	554,114	54,359
Rata-rata						43,600

Tabel 4.13 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (50%) + sandblast (50%) perbandingan aktivator 1,5.

Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
3 Hari	FA(50%)+SB(50%) 12M-1,5 80 : 20	1	580	4,91	118,157	11,591
		2	470	4,91	95,748	9,393
		3	610	4,91	124,268	12,191
Rata-rata						11,058
Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
28 Hari	FA(50%)+SB(50%) 12M-1,5 80 : 20	1	2600	4,91	529,668	51,960
		2	2940	4,91	598,932	58,755
		3	1990	4,91	405,399	39,770
Rata-rata						50,162
Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
56 Hari	FA(50%)+SB(50%) 12M-1,5 80 : 20	1	2880	4,91	586,709	57,556
		2	3690	4,91	751,721	73,744
		3	2920	4,91	594,858	58,356
Rata-rata						63,218



Grafik 4.10 Hasil kuat tekan *Fly Ash* (50%) + Sandblast (50%)

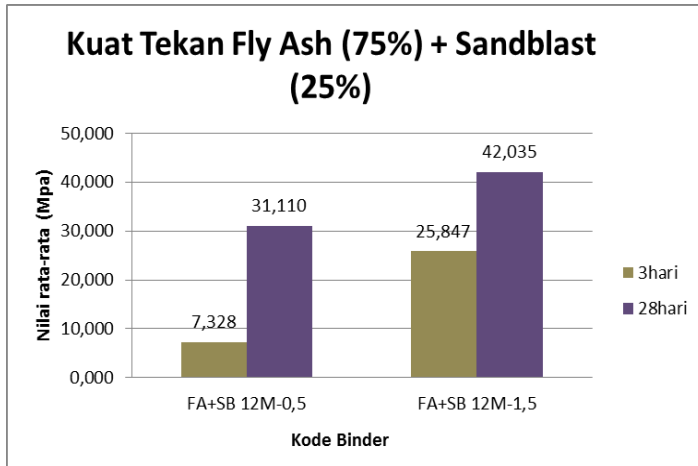
C. Fly Ash (75%) + Limbah Sandblasting (25%)

Tabel 4.14 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (75%) + sandblast (25%) perbandingan aktivator 0,5.

Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
3 Hari	FA(75%)+SB(25%) 12M-0,5 80 : 20	1	420	4,91	85,562	8,394
		2	310	4,91	63,153	6,195
		3	370	4,91	75,376	7,394
Rata-rata						7,328
Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas[A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
28 Hari	FA(75%)+SB(25%) 12M-0,5 80 : 20	1	1330	4,91	270,945	26,580
		2	1740	4,91	354,470	34,773
		3	1600	4,91	325,949	31,976
Rata-rata						31,110

Tabel 4.15 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (75%) + sandblast (25%) perbandingan aktivator 1,5.

Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
3 Hari	FA(75%)+SB(25%) 12M-1,5 80 : 20	1	1350	4,91	275,020	26,979
		2	1300	4,91	264,834	25,980
		3	1230	4,91	250,574	24,581
Rata-rata						25,847
Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
28 Hari	FA(75%)+SB(25%) 12M-1,5 80 : 20	1	2150	4,91	437,994	42,967
		2	1850	4,91	376,879	36,972
		3	2310	4,91	470,589	46,165
Rata-rata						42,035



Grafik 4.11 Hasil kuat tekan *Fly Ash* (75%) + Sandblast (25%).

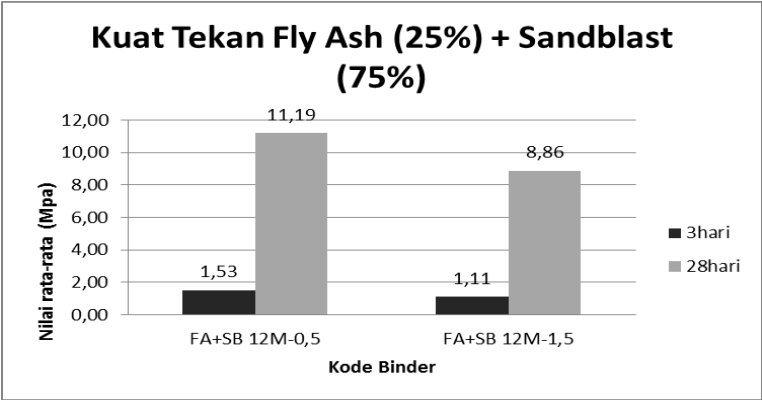
D. *Fly Ash* (25%) + Limbah Sandblasting (75%)

Tabel 4.16 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (25%) + sandblast (75%) perbandingan aktivator 0,5.

Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
3 Hari	FA(25%)+SB(75%) 12M-0,5 80 : 20	1	70	4,91	14,260	1,399
		2	80	4,91	16,297	1,599
		3	80	4,91	16,297	1,599
Rata-rata						1,532
Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
28 Hari	FA(25%)+SB(75%) 12M-0,5 80 : 20	1	390	4,91	79,450	7,794
		2	690	4,91	140,566	13,789
		3	600	4,91	122,231	11,991
Rata-rata						11,191

Tabel 4.17 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (25%) + sandblast (75%) perbandingan aktivator 1,5.

Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
3 Hari	FA(25%)+SB(75%) 12M-1,5 80 : 20	1	54	4,91	11,001	1,079
		2	60	4,91	12,223	1,199
		3	52	4,91	10,593	1,039
Rata-rata						1,106
Umur	Kode	No. Kode	Hasil Uji Tekan [P] (Kg)	Luas [A] (cm2)	Kuat Tekan F = P/A (Kg/cm2)	Kuat Tekan (MPa)
28 Hari	FA(25%)+SB(75%) 12M-1,5 80 : 20	1	500	4,91	101,859	9,992
		2	420	4,91	85,562	8,394
		3	410	4,91	83,525	8,194
Rata-rata						8,860



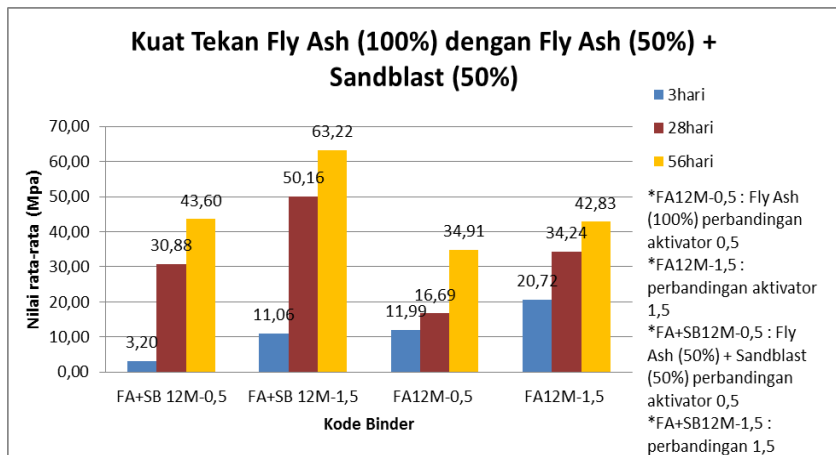
Grafik 4.12 Hasil kuat tekan *Fly Ash* (25%) + Sandblast (75%).

E. Rekapitulasi Data Kuat Tekan

- Perbandingan Fly Ash (100%) dengan Fly Ash + Sandblast (50% : 50%)

Tabel 4.18 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (100%) dengan *Fly Ash* (50%) + sandblast (50%)

Umur	FA+SB 12M-0,5	FA+SB 12M-1,5	FA12M-0,5	FA12M-1,5
3hari	3,20	11,06	11,99	20,72
28hari	30,88	50,16	16,69	34,24
56hari	43,60	63,22	34,91	42,83

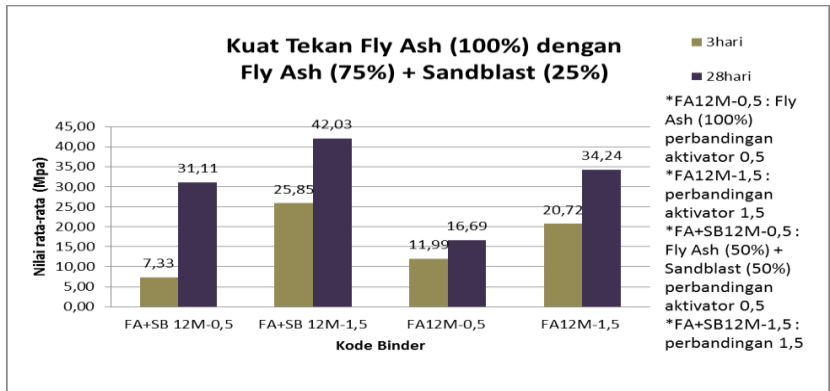


Grafik 4.13 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (100%) dengan *Fly Ash* (50%) + sandblast (50%)

- Perbandingan Fly Ash (100%) dengan Fly Ash + Sandblast (75% : 25%)

Tabel 4.19 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (100%) dengan *Fly Ash* (75%) + sandblast (25%)

Umur	FA+SB 12M-0,5	FA+SB 12M-1,5	FA12M-0,5	FA12M-1,5
3hari	7,33	25,85	11,99	20,72
28hari	31,11	42,03	16,69	34,24

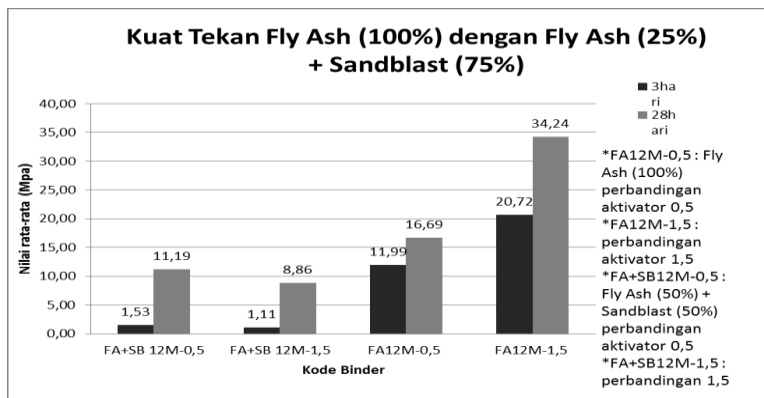


Grafik 4.14 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (100%) dengan *Fly Ash* (75%) + sandblast (25%)

➤ Perbandingan *Fly Ash* (100%) dengan *Fly Ash* + Sandblast (25%:75%)

Tabel 4.20 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (100%) dengan *Fly Ash* (25%) + sandblast (75%)

Umur	FA+SB 12M-0,5	FA+SB 12M-1,5	FA12M-0,5	FA12M-1,5
3hari	1,53	1,11	11,99	20,72
28hari	11,19	8,86	16,69	34,24



Grafik 4.15 Hasil uji kuat tekan *Fly Ash* (100%) dengan *Fly Ash* (75%) + sandblast (25%)

✚ Analisa Data Kuat Tekan :

- Kuat tekan rata-rata perbandingan aktivator 1,5 pada komposisi *fly ash* (100%), *fly ash* (50%) + sandblast (50%), *fly ash* (75%) + sandblast (25%) cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan aktivator 0,5.
- Kuat tekan *fly ash* (100%) umur 3hari lebih tinggi dibandingkan dengan *fly ash* (50%) + sandblast (50%) pada kedua perbandingan aktivator, akan tetapi pada umur 28 dan 56 hari hasil kuat tekan lebih tinggi *fly ash* (50%) + sandblast (50%) pada kedua perbandingan aktivator.
- Pada penambahan benda uji umur 3 dan 28 hari, terlihat pada perbandingan aktivator 1,5 komposisi *fly ash* (75%) + sandblast (25%) lebih tinggi dibandingkan dengan perbandingan aktivator 0,5 sedangkan pada komposisi *fly ash* (25%) + sandblast (75%) perbandingan aktivator 0,5 lebih tinggi dibandingkan dengan 1,5.

4.3.4 Tes UPV

UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) adalah pengujian untuk mengetahui mutu beton secara tidak langsung melalui pengukuran kecepatan rambat gelombang elektronik longitudinal pada beton. Berikut adalah hasil dan analisa tes *UPV* :

A. *Fly Ash* (100%)

Tabel 4.21 Hasil uji UPV *Fly Ash* (100%) perbandingan 0,5 umur 3 hari

No.	Kode Binder	Umur	Hasil UPV			Kualitas Beton
			t	l (m)	v(m/s)	
1	FA 12M-0,5 74 : 26	3 Hari	29,7	0,05	1680	Meragukan
			27,3	0,05	1830	
			29,7	0,05	1680	
			26,8	0,05	1870	
	Rata -rata/benda uji		28,38	0,05	1765,00	

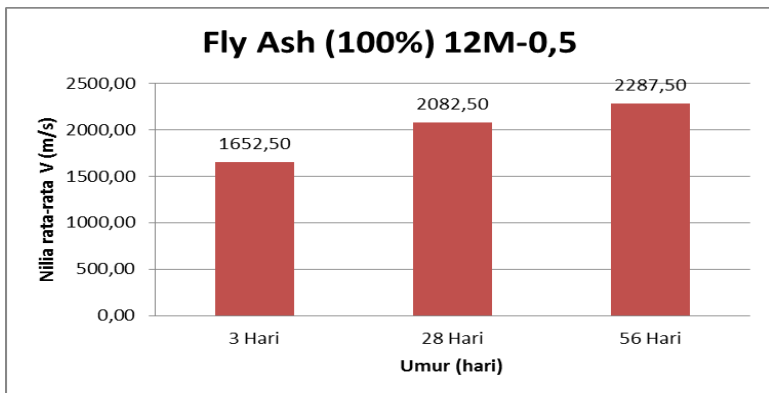
2	FA 12M-0,5 74 : 26	3 Hari	29,5	0,05	1700	Meragukan
			18,6	0,05	1750	
			30,2	0,05	1660	
			19,7	0,05	1690	
	Rata -rata/benda uji		24,50	0,05	1700,00	
3	FA 12M-0,5 74 : 26	3 Hari	48,3	0,05	1040	Meragukan
			31,1	0,05	1610	
			31,6	0,05	1580	
			32,7	0,05	1740	
	Rata -rata/benda uji		35,93	0,05	1492,50	
RATA-RATA KESELURUHAN			29,60		1652,50	Meragukan

Tabel 4.22 Hasil uji UPV Fly Ash (100%) perbandingan 0,5 umur 28 hari

No.	Kode Binder	Umur	Hasil UPV			Kualitas Beton
			t	l (m)	v(m/s)	
1	FA 12M-0,5 74 : 26	28 Hari	21,2	0,05	2360	Meragukan
			19,2	0,05	2600	
			26,4	0,05	1890	
			26,8	0,05	1870	
	Rata -rata/benda uji		23,40	0,05	2180,00	
2	FA 12M-0,5 74 : 26	28 Hari	44,2	0,05	1130	Meragukan
			26,4	0,05	1890	
			19,3	0,05	2590	
			24,7	0,05	2010	
	Rata -rata/benda uji		28,65	0,05	1905,00	
3	FA 12M-0,5 74 : 26	28 Hari	36,7	0,05	1890	Meragukan
			27,8	0,05	2680	
			18,9	0,05	1870	
			26,4	0,05	2210	
	Rata -rata/benda uji		27,45	0,05	2162,50	
RATA-RATA KESELURUHAN			26,50		2082,50	Meragukan

Tabel 4.23 Hasil uji UPV Fly Ash (100%) perbandingan 0,5 umur 56 hari

No.	Kode Binder	Umur	Hasil UPV			Kualitas Beton
			t	l (m)	v(m/s)	
1	FA 12M-0,5 74 : 26	56 Hari	21,3	0,05	2350	Meragukan
			21,1	0,05	2370	
			21,6	0,05	2320	
			21,1	0,05	2370	
	Rata -rata/benda uji		21,28	0,05	2352,50	
2	FA 12M-0,5 74 : 26	56 Hari	28,2	0,05	1770	Meragukan
			23,2	0,05	2160	
			20,7	0,05	2420	
			21,3	0,05	2350	
	Rata -rata/benda uji		23,35	0,05	2175,00	
3	FA 12M-0,5 74 : 26	56 Hari	20,2	0,05	2350	Meragukan
			24,2	0,05	2480	
			2,5	0,05	2070	
			19,6	0,05	2440	
	Rata -rata/benda uji		16,63	0,05	2335,00	
RATA-RATA KESELURUHAN			20,42		2287,50	Meragukan

**Grafik 4.16** Hasil uji UPV Fly Ash (100%) perbandingan 0,5

Tabel 4.24 Hasil uji UPV Fly Ash (100%) perbandingan 1,5 umur 3hari

No.	Kode Binder	Umur	Hasil UPV			Kualitas Beton
			t	l (m)	v(m/s)	
1	FA 12M-1,5 74 : 26	3 Hari	48,6	0,05	1030	Meragukan
			48,4	0,05	1030	
			46,2	0,05	1080	
			47	0,05	1060	
	Rata -rata/benda uji		47,55	0,05	1050,00	
2	FA 12M-1,5 74 : 26	3 Hari	24,2	0,05	2070	Meragukan
			26,5	0,05	1890	
			26,2	0,05	1910	
			23	0,05	2170	
	Rata -rata/benda uji		24,98	0,05	2010,00	
3	FA 12M-1,5 74 : 26	3 Hari	22	0,05	2080	Meragukan
			22,6	0,05	2020	
			22,8	0,05	2010	
			23,2	0,05	2190	
	Rata -rata/benda uji		22,65	0,05	2075,00	
RATA-RATA KESELURUHAN			31,73		1711,67	Meragukan

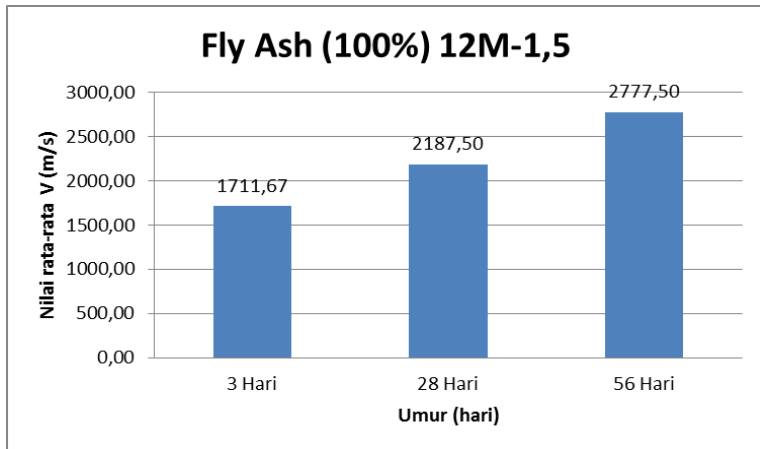
Tabel 4.25 Hasil uji UPV Fly Ash (100%) perbandingan 1,5 umur 28hari

No.	Kode Binder	Umur	Hasil UPV			Kualitas Beton
			t	l (m)	v(m/s)	
1	FA 12M-1,5 74 : 26	28 Hari	21,9	0,05	2200	Meragukan
			22,2	0,05	2250	
			22,1	0,05	2260	
			24,4	0,05	2050	
	Rata -rata/benda uji		22,65	0,05	2190,00	
2	FA 12M-1,5 74 : 26	28 Hari	22,6	0,05	2210	Meragukan
			23,2	0,05	2160	
			23,4	0,05	2140	
			23,5	0,05	2230	
	Rata -rata/benda uji		23,18	0,05	2185,00	

3	FA 12M-1,5 74 : 26	28 Hari	36,7	0,05	2190	Meragukan
			27,8	0,05	2210	
			18,9	0,05	2190	
			26,4	0,05	2160	
	Rata -rata/benda uji		27,45	0,05	2187,50	
RATA-RATA KESELURUHAN			24,43		2187,50	Meragukan

Tabel 4.26 Hasil uji UPV Fly Ash (100%) perbandingan 1,5 umur 56 hari

No.	Kode Binder	Umur	Hasil UPV			Kualitas Beton
			t	l (m)	v(m/s)	
1	FA 12M-1,5 74 : 26	56 Hari	22,8	0,05	3290	Cukup
			21,5	0,05	3490	
			22,6	0,05	3320	
			22,8	0,05	3290	
	Rata -rata/benda uji		22,43	0,05	3347,50	
2	FA 12M-1,5 74 : 26	56 Hari	22,2	0,05	3380	Meragukan
			18,5	0,05	2700	
			17,8	0,05	2810	
			17,5	0,05	2860	
	Rata -rata/benda uji		19,00	0,05	2937,50	
3	FA 12M-1,5 74 : 26	56 Hari	18,1	0,075	2760	Meragukan
			27,2	0,075	1840	
			26,2	0,075	1910	
			24,6	0,075	1680	
	Rata -rata/benda uji		24,03	0,075	2047,50	
RATA-RATA KESELURUHAN			21,82		2777,50	Meragukan



Grafik 4.17 Hasil uji UPV Fly Ash (100%) perbandingan 1,5

B. Fly Ash (50%) + Limbah Sandblasting (50%)

Tabel 4.27 Hasil uji UPV Fly Ash (50%)+sandblast(50%) perbandingan 0,5 umur 3 hari.

No.	Kode Binder	Umur	Hasil UPV			Kualitas Beton
			t	l (m)	v(m/s)	
1	FA+SB 12M-0,5 80 : 20	3 Hari	28,40	0,05	1670,00	Meragukan
			30,10	0,05	1660,00	
			29,60	0,05	1690,00	
			30,10	0,05	1660,00	
	Rata -rata/benda uji		29,55	0,05	1670,00	
2	FA+SB 12M-0,5 80 : 20	3 Hari	30,70	0,05	1630,00	Meragukan
			29,40	0,05	1700,00	
			28,40	0,05	1760,00	
			30,10	0,05	1660,00	
	Rata -rata/benda uji		29,65	0,05	1687,50	
3	FA+SB 12M-0,5 80 : 20	3 Hari	29,00	0,05	1720,00	Meragukan
			29,60	0,05	1690,00	
			28,70	0,05	1740,00	
			31,30	0,05	1600,00	
	Rata -rata/benda uji		29,65	0,05	1687,50	
RATA-RATA KESELURUHAN			29,62	0,05	1681,67	Meragukan

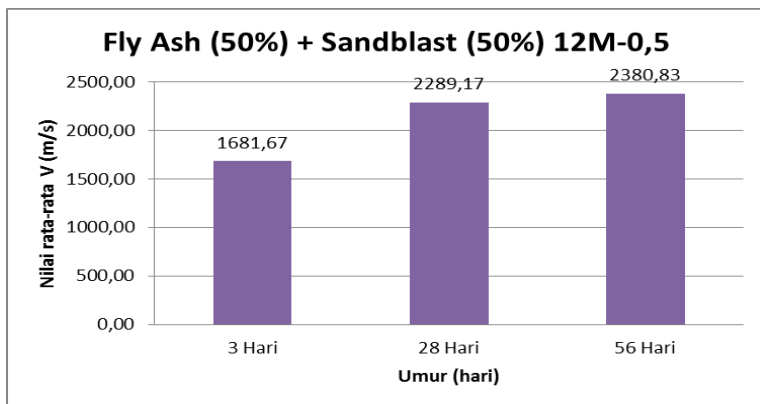
Tabel 4.28 Hasil uji UPV Fly Ash (50%)+sandblast(50%) perbandingan 0,5 umur 28 hari.

No.	Kode Binder	Umur	Hasil UPV			Kualitas Beton
			t	l (m)	v(m/s)	
1	FA+SB 12M-0,5 80 : 20	28 Hari	22,30	0,05	2240	Meragukan
			19,70	0,05	2540	
			21,80	0,05	2290	
			22,40	0,05	2230	
	Rata -rata/benda uji		21,55	0,05	2325	
2	FA+SB 12M-0,5 80 : 20	28Hari	24,60	0,05	2030	Meragukan
			20,30	0,05	2460	
			20,50	0,05	2440	
			22,70	0,05	2200	
	Rata -rata/benda uji		22,03	0,05	2282,5	
3	FA+SB 12M-0,5 80 : 20	28 Hari	22,20	0,05	2250	Meragukan
			22,40	0,05	2230	
			20,60	0,05	2430	
			23,50	0,05	2130	
	Rata -rata/benda uji		22,18	0,05	2260	
RATA-RATA KESELURUHAN			21,92	0,05	2289,17	Meragukan

Tabel 4.29 Hasil uji UPV Fly Ash (50%)+sandblast(50%) perbandingan 0,5 umur 56 hari.

No.	Kode Binder	Umur	Hasil UPV			Kualitas Beton
			t	l (m)	v(m/s)	
1	FA+SB 12M-0,5 80 : 20	56 Hari	20,80	0,05	2400	Meragukan
			19,70	0,05	2540	
			20,50	0,05	2440	
			20,20	0,05	2480	
	Rata -rata/benda uji		20.30	0.05	2465	

2	FA+SB 12M-0,5 80 : 20	56 Hari	20,30	0,05	2460	Meragukan
			20,50	0,05	2440	
			20,70	0,05	2420	
			20,80	0,05	2400	
	Rata -rata/benda uji		20,58	0,05	2430	
3	FA+SB 12M-0,5 80 : 20	56 Hari	21,80	0,05	2290	Meragukan
			22,40	0,05	2230	
			23,50	0,05	2130	
			21,40	0,05	2340	
	Rata -rata/benda uji		22,28	0,05	2247,5	
RATA-RATA KESELURUHAN			21,05	0,05	2380,83	Meragukan



Grafik 4.18 Hasil uji UPV Fly Ash (50%) + sandblast(50%) perbandingan 0,5

Tabel 4.30 Hasil uji UPV Fly Ash (50%)+sandblast(50%) perbandingan 1,5 umur 3hari.

No.	Kode Binder	Umur	Hasil UPV			Kualitas Beton
			t	l (m)	v(m/s)	
1	FA+SB 12M-1,5 80 : 20	3 Hari	28,70	0,05	1740	Meragukan
			27,80	0,05	1800	

			27,30	0,05	1830	
			27,90	0,05	1790	
	Rata -rata/benda uji		27,93	0,05	1790	
2	FA+SB 12M-1,5 80 : 20	3 Hari	30,70	0,05	1630	Meragukan
			31,10	0,05	1610	
			31,00	0,05	1610	
			30,20	0,05	1660	
	Rata -rata/benda uji		30,75	0,05	1627,5	
3	FA+SB 12M-1,5 80 : 20	3 Hari	29,50	0,05	1700	Meragukan
			30,20	0,05	1660	
			29,60	0,05	1690	
			30,00	0,05	1670	
	Rata -rata/benda uji		29,83	0,05	1680	
RATA-RATA KESELURUHAN			29,50		1699,17	Meragukan

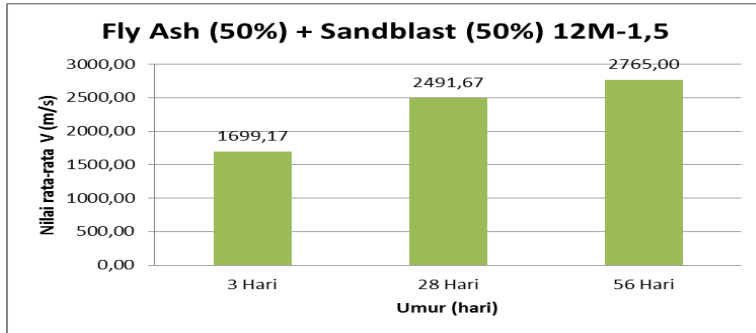
Tabel 4.31 Hasil uji UPV Fly Ash (50%)+sandblast(50%) perbandingan 1,5 umur 28hari.

No.	Kode Binder	Umur	Hasil UPV			Kualitas Beton
			t	l (m)	v(m/s)	
1	FA+SB 12M-1,5 80 : 20	28 Hari	20,20	0,05	2480	Meragukan
			21,60	0,05	2320	
			19,70	0,05	2540	
			20,20	0,05	2480	
	Rata -rata/benda uji		20,43	0,05	2455	
2	FA+SB 12M-1,5 80 : 20	28Hari	20,20	0,05	2480	Meragukan
			20,70	0,05	2420	
			20,20	0,05	2480	
			21,30	0,05	2350	
	Rata -rata/benda uji		20,60	0,05	2432,5	

3	FA+SB 12M-1,5 80 : 20	28 Hari	19,20	0,05	2600	Meragukan
			19,00	0,05	2630	
			19,40	0,05	2580	
			19,70	0,05	2540	
	Rata -rata/benda uji		19,33	0,05	2587,5	
RATA-RATA KESELURUHAN			20,12		2491,67	Meragukan

Tabel 4.32 Hasil uji UPV Fly Ash (50%)+sandblast(50%) perbandingan 1,5 umur 56hari

No.	Kode Binder	Umur	Hasil UPV			Kualitas Beton
			t	l (m)	v(m/s)	
1	FA+SB 12M-1,5 80 : 20	56 Hari	17,70	0,05	2830	Meragukan
			17,50	0,05	2860	
			17,80	0,05	2810	
			17,80	0,05	2810	
	Rata -rata/benda uji		17,70	0,05	2827,5	
2	FA+SB 12M-1,5 80 : 20	56 Hari	18,30	0,05	2730	Meragukan
			18,80	0,05	2660	
			18,10	0,05	2760	
			18,20	0,05	2750	
	Rata -rata/benda uji		18,35	0,05	2725	
3	FA+SB 12M-1,5 80 : 20	56 Hari	17,90	0,05	2790	Meragukan
			18,20	0,05	2750	
			18,50	0,05	2700	
			18,30	0,05	2730	
	Rata -rata/benda uji		18,23	0,05	2742,5	
RATA-RATA KESELURUHAN			18,09		2765,00	Meragukan

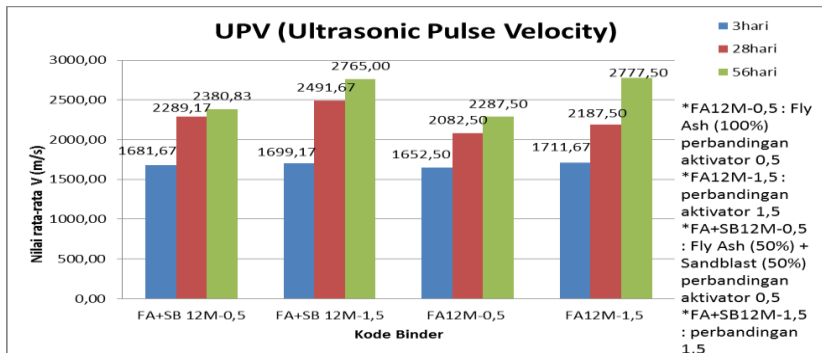


Grafik 4.19 Hasil uji UPV Fly Ash (50%)+sandblast(50%) perbandingan 1,5

C. Rekapitulasi Data *UPV*

Tabel 4.33 Hasil uji UPV secara keseluruhan

Umur	FA+SB 12M-0,5	FA+SB 12M-1,5	FA12M-0,5	FA12M-1,5
3hari	1681,67	1699,17	1652,50	1711,67
28hari	2289,17	2491,67	2082,50	2187,50
56hari	2380,83	2765,00	2287,50	2777,50



Grafik 4.20 Hasil uji UPV secara keseluruhan.



Analisa Data *UPV* :

- Dari hasil UPV pada komposisi *Fly Ash* (100%) perbandingan aktivator 1,5 nilai rata-rata lebih tinggi daripada perbandingan 0,5 secara keseluruhan (umur 3,

28, dan 56hari), sama halnya dengan komposisi *Fly Ash* (50%) + Sandblast (50%).

Tabel 4.34 Klasifikasi kualitas beton normal berdasarkan uji *UPV* mengacu pada British Standart (BS) 1881-1986

UPV (m/s)	Kualitas beton
>4500	Sangat baik
3500-4500	Baik
3000-3500	Cukup
<3000	Meragukan

- Menurut British Standart (BS) 1881-1986, hasil pengujian yang dilakukan pada umur 3, 28 dan 56 hari secara keseluruhan (semua perbandingan komposisi) kualitas binder meragukan karena hasil *UPV* menunjukkan angka < 3000.

4.3.5 Tes *Permeability*

Permeabilitas adalah suatu tes untuk mengetahui kemudahan cairan atau gas untuk melewati beton. Berikut adalah data-data dari pengujian tes *permeability* :

A. *Fly Ash* (100%)

Tabel 4.35 Hasil tes permeabilitas *Fly Ash* (100%) perbandingan aktivator 0,5

No.	Umur	Kode	kT (x 10 ⁻¹⁶ m ²)	Rata-rata kT	L (mm)	Rata-rata L
1	FA 12M-0,5 74 : 26 3 Hari	1	0,042	0,038	8,0	7,83
		2	0,035		7,7	
		3	0,037		7,8	
2	FA 12M-0,5 74 : 26 28 Hari	1	0,017	0,020	7	7,17
		2	0,023		7,4	
		3	0,019		7,1	

3	FA 12M-0,5 74 : 26 56 Hari	1	0,006	0,008	5,2	5,47
		2	0,009		5,6	
		3	0,008		5,6	

Tabel 4.36 Hasil tes permeabilitas *Fly Ash* (100%) perbandingan aktivator 1,5

No.	Umur	Kode	kT ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$)	Rata-rata kT	L (mm)	Rata-rata L
1	FA 12M-1,5 74 : 26 3 Hari	1	0,039	0,020	7,4	5,00
		2	0,007		3,6	
		3	0,013		4,0	
2	FA 12M-1,5 74 : 26 28 Hari	1	0,003	0,004	2,2	3,27
		2	0,005		3,7	
		3	0,004		3,9	
3	FA 12M-1,5 74 : 26 56 Hari	1	0,001	0,002	2,0	2,07
		2	0,003		2,2	
		3	0,003		2,0	

B. *Fly Ash* (50%) + Limbah Sandblasting (50%)

Tabel 4.37 Hasil tes permeabilitas *Fly Ash* (50%) + Sandblast (50%) perbandingan aktivator 0,5

No.	Umur	Kode	kT ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$)	Rata-rata kT	L (mm)	Rata-rata L
1	FA+SB 12M-0,5 80 : 20 3 Hari	1	0,036	0,034	7,8	7,63
		2	0,037		7,8	
		3	0,030		7,3	

2	FA+SB 12M-0,5 80 : 20 28 Hari	1	0,017	0,016	7,0	6,83
		2	0,020		7,2	
		3	0,011		6,3	
3	FA+SB 12M-0,5 80 : 20 56 Hari	1	0,007	0,007	5,5	5,23
		2	0,004		4,1	
		3	0,009		6,1	

Tabel 4.38 Hasil tes permeabilitas *Fly Ash* (50%) + Sandblast (50%) perbandingan aktivator 1,5

No.	Umur	Kode	kT ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$)	Rata-rata kT	L (mm)	Rata-rata L
1	FA+SB 12M-1,5 80 : 20 3 Hari	1	0,016	0,017	7,0	7,07
		2	0,017		7,0	
		3	0,019		7,2	
2	FA+SB 12M-1,5 80 : 20 28 Hari	1	0,003	0,003	2,3	2,37
		2	0,004		2,5	
		3	0,003		2,3	
3	FA+SB 12M-1,5 80 : 20 56 Hari	1	0,001	0,001	2,0	2,03
		2	0,001		2,1	
		3	0,001		2,0	

C. Rekapitulasi Data *Permeability*

Tabel 4.39 Klasifikasi kualitas beton normal berdasarkan uji *permeability* mengacu pada SN 505 252/1, Annex E

Kualitas Beton	Index	kT ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$)
Sangat Buruk	5	> 10
Buruk	4	1,0 - 10
Normal	3	0,1 - 1,0
Baik	2	0,01 - 0,1
Sangat Baik	1	< 0,01

- ***Fly Ash (100%)***

Tabel 4.40 Hasil tes permeabilitas *Fly Ash* (100%)

Kode Binder	L (mm)	kT (x 10 ⁻¹⁶ m ²)	Kualitas Beton
FA 12M-0,5 (3 hari)	7,83	0,038	Normal
FA 12M-0,5 (28 hari)	7,17	0,020	Baik
FA 12M-0,5 (56 hari)	5,47	0,008	Sangat Baik
FA 12M-1,5 (3 hari)	5,00	0,020	Baik
FA 12M-1,5 (28 hari)	3,27	0,004	Sangat Baik
FA 12M-1,5 (56 hari)	2,07	0,002	Sangat Baik

- ***Fly Ash (50%) + Sandblast (50)***

Tabel 4.41 Hasil tes permeabilitas *Fly Ash* (50%) + Sandblast (50%)

Kode Binder	L (mm)	kT (x 10 ⁻¹⁶ m ²)	Kualitas Beton
FA+SB 12M-0,5 (3 hari)	7,63	0,034	Normal
FA+SB 12M-0,5 (28 hari)	6,83	0,016	Normal
FA+SB 12M-0,5 (56 hari)	5,23	0,007	Sangat Baik
FA+SB 12M-1,5 (3 hari)	7,20	0,022	Baik
FA+SB 12M-1,5 (28 hari)	5,90	0,008	Sangat Baik
FA+SB 12M-1,5 (56 hari)	3,20	0,003	Sangat Baik



Analisa Data *Permeability*

- Dari hasil pengujian pada komposisi *Fly Ash* (100%) dan komposisi *Fly Ash* (50%) + Sandblast (50%) pada perbandingan aktivator 1,5 kualitas beton lebih baik daripada perbandingan aktivator 0,5.

4.4 Hubungan (korelasi) Hasil Pengujian Binder Geopolimer

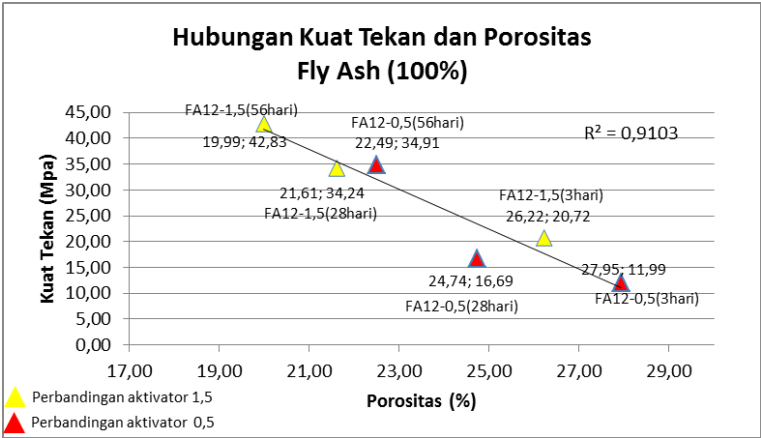
Berikut adalah korelasi (hubungan) dari beberapa hasil pengujian :

A. Hubungan Kuat Tekan dan Porositas

- *Fly Ash (100%)*

Tabel 4.42 Hasil Hubungan Kuat Tekan dan Porositas *Fly Ash* (100%).

Kode Binder	Kuat Tekan fc' (Mpa)	Porositas (%)
FA12-3 ;0,5	11,99	27,95
FA12-28 ;0,5	16,69	24,74
FA12-56 ;0,5	34,91	22,49
FA12-3 ;1,5	20,72	26,22
FA12-28 ;1,5	34,24	21,61
FA12-56 ;1,5	42,83	19,99

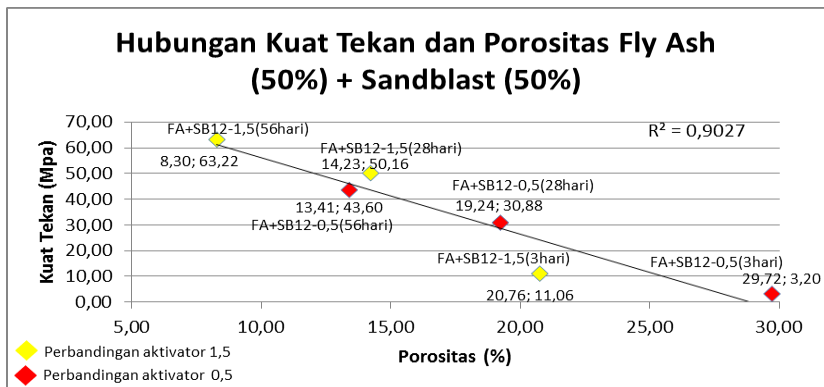


Grafik 4.21 Hasil hubungan Kuat Tekan dan Porositas *Fly Ash* (100%).

- **Fly Ash (50%) + Sandblast (50%)**

Tabel 4.43 Hasil Hubungan Kuat Tekan dan Porositas *Fly Ash* (50%) + Sandblast (50%)

Kode Binder	Kuat Tekan f_c' (Mpa)	Porositas (%)
FA+SB12-3 ;0,5	3,20	29,72
FA+SB12-28 ;0,5	30,88	19,24
FA+SB12-56 ;0,5	43,60	13,41
FA+SB12-3 ;1,5	11,06	20,76
FA+SB12-28 ;1,5	50,16	14,23
FA+SB12-56 ;1,5	63,22	8,30



Grafik 4.22 Hasil hubungan Kuat Tekan dan Porositas *Fly Ash* (50%) + Sandblast (50%).



Analisa hasil data hubungan Kuat Tekan dan Porositas :



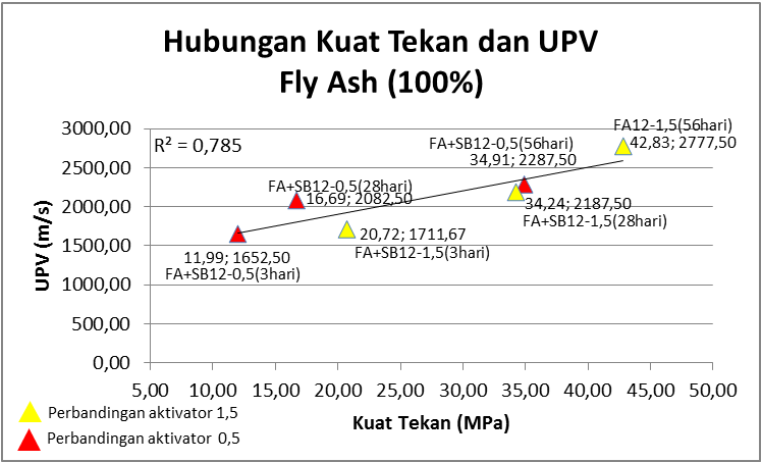
Dari hasil di atas semakin besar kuat tekan maka semakin kecil hasil porositas, dan sebaliknya semakin kecil kuat tekan maka hasil porositas semakin besar.

B. Hubungan Kuat Tekan dan UPV

- **Fly Ash (100%)**

Tabel 4.44 Hasil Hubungan Kuat Tekan dan UPV *Fly Ash* (100%)

Kode Binder	Kuat Tekan fc' (Mpa)	UPV (m ³ /det)
FA12-3 ;0,5	11,99	1652,50
FA12-28 ;0,5	16,69	2082,50
FA12-56 ;0,5	34,91	2287,50
FA12-3 ;1,5	20,72	1711,67
FA12-28 ;1,5	34,24	2187,50
FA12-56 ;1,5	42,83	2777,50

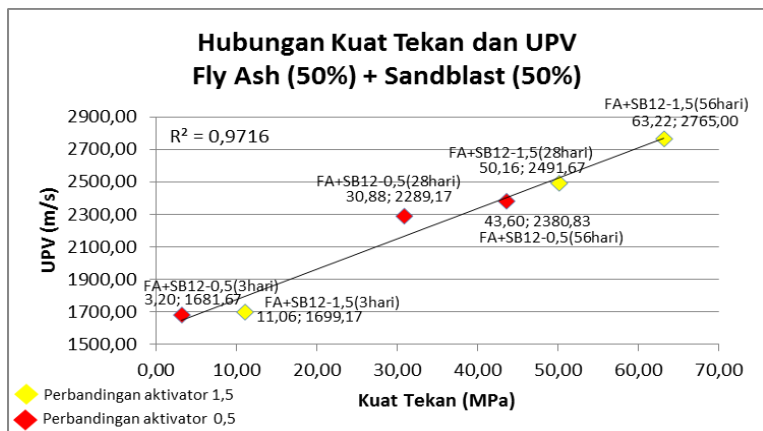


Grafik 4.23 Hasil hubungan Kuat Tekan dan UPV *Fly Ash* (100%).

- **Fly Ash (50%) + Sandblast (50%)**

Tabel 4.45 Hasil Hubungan Kuat Tekan dan UPV *Fly Ash (50%) + Sandblast (50%)*

Kode Binder	Kuat Tekan fc' (Mpa)	UPV (m ³ /det)
FA+SB12-3 ;0,5	3,20	1681,67
FA+SB12-28 ;0,5	30,88	2289,17
FA+SB12-56 ;0,5	43,60	2380,83
FA+SB12-3 ;1,5	11,06	1699,17
FA+SB12-28 ;1,5	50,16	2491,67
FA+SB12-56 ;1,5	63,22	2765,00



Grafik 4.24 Hasil hubungan Kuat Tekan dan UPV *Fly Ash (50%) + Sandblast (50%)*.



Analisa hasil data Hubungan Kuat Tekan dan UPV

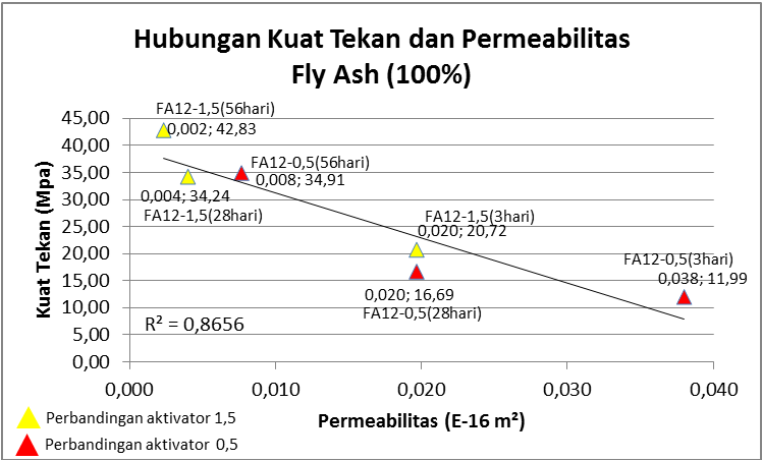
- Dari hasil data tersebut semakin besar nilai UPV maka berbanding lurus dengan hasil kuat tekan, sedangkan semakin kecil nilai UPV maka semakin juga hasil kuat tekan.

C. Hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas

- *Fly Ash* (100%)

Tabel 4.46 Hasil Hubungan KuatTekan dan Permeabilitas *Fly Ash* (100%)

Kode Binder	Kuat Tekan fc' (Mpa)	Permeabilitas (E-16 m ²)
FA12-3 ;0,5	11,99	0,038
FA12-28 ;0,5	16,69	0,020
FA12-56 ;0,5	34,91	0,008
FA12-3 ;1,5	20,72	0,020
FA12-28 ;1,5	34,24	0,004
FA12-56 ;1,5	42,83	0,002

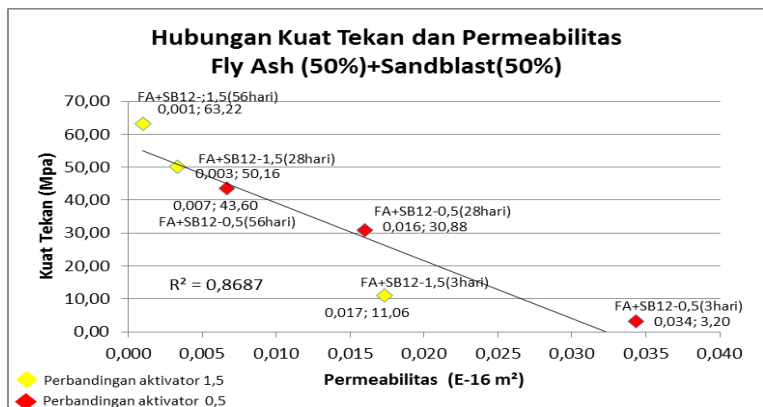


Grafik 4.25 Hasil hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas *Fly Ash* (100%).

- **Fly Ash (50%) + Sandblast (50%)**

Tabel 4.47 Hasil Hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas *Fly Ash* (50%) + Sandblast (50%)

Kode Binder	Kuat Tekan f_c' (Mpa)	Permeabilitas (E-16 m ²)
FA+SB12-3 ;0,5	3,20	0,034
FA+SB12-28 ;0,5	30,88	0,016
FA+SB12-56 ;0,5	43,60	0,007
FA+SB12-3 ;1,5	11,06	0,017
FA+SB12-28 ;1,5	50,16	0,003
FA+SB12-56 ;1,5	63,22	0,001



Grafik 4.26 Hasil hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas *Fly Ash* (50%) + Sandblast (50%).



Analisa hasil data Hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas :

- Dari hasil data tersebut semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin rendah nilai permeabilitas, sebaliknya nilai kuat tekan rendah maka nilai permeabilitas akan tinggi.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a) Dengan komposisi campuran *Fly Ash* (50%) + Limbah Sandblasting (50%) hasil kuat tekan, porositas, UPV dan permeabilitas cenderung lebih bagus dibandingkan dengan komposisi *Fly Ash* (100%). Sedangkan untuk *setting time Fly Ash* (100%) lebih cepat dibanding dengan campuran *Fly Ash* (50%) + Limbah Sandblasting (50%). Pada komposisi Limbah Sandblasting (100%) waktu pengikatan akhir mengalami rentan waktu lebih dari 1minggu dikarenakan Limbah Sandblasting berfungsi sebagai bahan pengisi bukan bahan pengikat utama.
- b) Perbandingan komposisi terbaik pada campuran *Fly Ash* (50%) + Limbah Sandblasting (50%) dengan perbandingan aktivator 1,5.
- c) Dengan komposisi campuran *Fly Ash* (50%) + Limbah Sandblasting (50%) dapat mengurangi ketergantungan (dominasi) penggunaan *Fly Ash* pada beton geopolimer.

5.2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk :

- 1) Melakukan pengujian terhadap Natrium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat (Na_2SiO_3), agar polimerisasi bisa maksimal ketika di campur dengan variabel/bahan yang digunakan dalam penelitian.
- 2) Meratakan permukaan benda uji (baik silinder maupun kubus) sebelum di uji agar hasil pengujian

maksimal, khususnya pada pengujian kuat tekan, UPV dan permeabilitas.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM Commite C 39 – 04a dan AASHTO T22-15¹, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrial Concrete Specimens,2007.
2. ASTM Commite C 168
3. ASTM Commite C 191-04, Standard test method for time of setting of hydraulic cement by vicat needle, 2003
4. ASTM Commite C 270
5. ASTM Commite C 823-75
6. ASTM Commite C 597-09 ,Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.
7. Davidovits,J. 1994, *Properties of Geopolymer Cements. Geopolymer Institute. France : Saint-Quentin.*
8. D. Hardjito., Steenie E. Wallah., Dody M.J Sumajouw., B.V Rangan., Sep 2004. “*Factors Influencing the Compressive Strength of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*”. Jurnal Dimensi Teknik Sipil 6, 2:88-93.
9. Faseyemi VA, “*Investigastions on silica fume as partial cement replacement in concrete*”. Global journal of researches in eneeneering civil adn structural engineering.

10. K. H Khayat *et.al.*, “*Use Of Blended Silica Fume Cemen In Commercial Concrete Mixtures (Vol 94, PG 185, 1997)*” *ACI materials journal*, 94(5), 1997, pp.451-451
11. RILEM CPC 11.3
12. Sanjaya dan Yuwono, 2006 “ *Fly Ash – Based Geopolymer Mortar*”
13. Shuang Lu and D.D.L Chung, *ACI materials journal*, MS No. M-2013-149.R5
14. SN 505 252/1, ANNEX E.
15. Tjokrodimuljo, Kardiono. 1996. Teknologi Beton, Buku Ajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
16. Weng, L.; Sagoe-Crentil, K., Dissolution processes, hydrolysis and condensation reaction during geopolymer synthesis: Part I-Low Si/ Al ratio system. *J Mater Sci* 2007, 42, 2997-3006.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Pasuruan, 19 April 1992, merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK RA Perwanida Ngetal Karangrejo Gempol, SDN Kejapanan 1 Gempol Kabupaten Pasuruan, SMP Negeri 1 Gempol dan SMA Kemala Bhayangkari 3 Porong Sidoarjo. Setelah lulus dari SMA tahun 2010, penulis mengikuti Ujian Masuk

Diploma III dan diterima di Program Studi Diploma III Teknik Sipil FTSP pada tahun berikutnya dan terdaftar dengan NRP. 3111030002. Di Program Studi Diploma ini, Penulis mengambil Bidang Studi Bangunan Gedung. Penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan seminar yang diselenggarakan oleh Program Studi, Fakultas, Institut, dan aktif mengikuti acara jurusan. Serta aktif dalam bidang minat bakat yaitu UKM Sepakbola ITS di cabang olahraga Futsal Putri. Dan lulus Diploma III pada tahun 2014.

Selanjutnya, penulis melanjutkan ke jenjang D4 Teknik Sipil pada tahun 2016 dan terdaftar dengan NRP 3115040615. Untuk keperluan Proyek Akhir Terapan ini bisa menghubungi penulis di email aprilizarizky909@gmail.com

LAMPIRAN

Lampiran 1

MIX DESAIN SILINDER FY ASH PERBANDINGAN 0,5

1	Massa 1 silinder binder geopolimer berukuran 2,5 x 5 cm ²							
	Volume 1 binder	=	$\frac{1}{4}$	x	π	x	d	² x t
		=	$\frac{1}{4}$	x	π	x	2,5	² x 5
		=	24,54	cm ³				
	Massa 1 binder	=	ρ pasta	x	volume 1 binder			
		=	2,4	x	24,54			
		=	58,9	gram				
	Massa Fly Ash	=	74%	x	massa 1 binder			
		=	74%	x	58,905			
		=	43,5896	gram				
2	Menentukan massa aktivator							
	Massa aktivator	=	26%	x	massa 1 binder			
		=	26%	x	58,905			
		=	15,32	gram				
	15,32 gram	=	0,5	NaOH	+	1 Na ₂ SiO ₃		
	15,32 gram	=	1,5	NaOH				
	Massa NaOH	=	15,32	/	1,5			
		=	10,21	gram				
	Massa Na ₂ SiO ₃	=	5,11	gram				

MIX DESAIN KUBUS FLY ASH PERBANDINGAN 0,5

1	Massa 1 kubus binder geopolimer berukuran 15 x 15 x 5 cm ³	=	s	x	s	x	s
	Volume 1 kubus	=	15	x	15	x	5
		=	1125	cm ³			
	Massa 1 kubus	=	ρ pasta	x	volume 1 kubus		
		=	2,4	x	1125		
		=	2700	gram			
	Massa Fly Ash	=	74%	x	massa 1 kubus		
		=	74%	x	2700		
		=	1998	gram			
2	Menentukan massa aktivator						
	Massa aktivator	=	26%	x	massa 1 kubus		
		=	26%	x	2700		
		=	702	gram			
	702 gram	=	0,5	NaOH	+	1 Na ₂ SiO ₃	
	702 gram	=	1,5	NaOH			
	Massa NaOH	=	702	/	1,5		
		=	468	gram			
	Massa Na ₂ SiO ₃	=	234	gram			

MIX DESAIN SILINDER FLY ASH PERBANDINGAN 1,5

1	Massa 1 silinder binder geopolimer berukuran 2,5 x 5 cm ²									
	Volume 1 binder	=	$\frac{1}{4}$	x	π	x	d	²	x	t
		=	$\frac{1}{4}$	x	π	x	2,5	²	x	5
		=	24,54		cm ³					
	Massa 1 binder	=	ρ pasta	x	volume 1 binder					
		=	2,4	x	24,54					
		=	58,9		gram					
	Massa Fly Ash	=	74%	x	massa 1 binder					
		=	74%	x	58,905					
		=	43,5896		gram					
2	Menentukan massa aktivator									
	Massa aktivator	=	26%	x	massa 1 binder					
		=	26%	x	58,905					
		=	15,32		gram					
	15,32 gram	=	1,5	NaOH	+	1 Na ₂ SiO ₃				
	15,32 gram	=	2,5	NaOH						
	Massa NaOH	=	15,32	/	2,5					
		=	6,13		gram					
	Massa Na ₂ SiO ₃	=	9,19		gram					

MIX DESAIN KUBUS FLY ASH PERBANDINGAN 1,5

1	Massa 1 kubus binder geopolimer berukuran 15 x 15 x 5 cm ³									
	Volume 1 kubus	=	s	x	s	x	s			
		=	15	x	15	x	5			
		=	1 125		cm ³					
	Massa 1 kubus	=	ρ pasta	x	volume 1 kubus					
		=	2,4	x	1 125					
		=	2700		gram					
	Massa fly ash	=	74%	x	massa 1 kubus					
		=	74%	x	2700					
		=	1998		gram	x			6 bh	
2	Menentukan massa aktivator									
	Massa aktivator	=	26%	x	massa 1 kubus					
		=	26%	x	2700					
		=	702		gram					
	702 gram	=	1,5	NaOH	+	1 Na ₂ SiO ₃				
	702 gram	=	2,5	NaOH						
	Massa NaOH	=	702	/	2,5					
		=	281		gram	x			3 bh	
		=	842		gram					
	Massa Na ₂ SiO ₃	=	421		gram	x			3 bh	
		=	1 264		gram					

Lampiran 2

MIX DESAIN SILINDER FLY ASH (50%) + SANDBLAST (50%) PERBANDINGAN 0,5

1	Massa 1 silinder binder geopolimer berukuran 2.5 x 5 cm ²									
	Volume 1 binder	=	$\frac{1}{4}$	x	π	x	d	²	x	t
		=	$\frac{1}{4}$	x	π	x	2,5	²	x	5
		=	24,54		cm ³					
	Massa 1 binder	=	ρ pasta	x	volume 1 binder					
		=	2,4	x	24,54					
		=	58,905		gram					
	Massa Fly Ash + Sandblast	=	80%	x	massa 1 binder					
		=	80%	x	58,905					
		=	47,12		gram					
	Massa Fly Ash	=	23,56		gram					
	Massa Sandblast	=	23,56		gram					
2	Menentukan massa aktivator									
	Massa aktivator	=	20%	x	massa 1 binder					
		=	20%	x	58,905					
		=	11,78		gram					
	11,78 gram	=	0,5	NaOH	+		1 Na ₂ SiO ₃			
	11,78 gram	=	1,5	NaOH						
	Massa NaOH	=	11,78	/	1,5					
		=	7,85		gram					
	Massa Na ₂ SiO ₃	=	3,93		gram					

MIX DESAIN KUBUS FLY ASH (50%) + SANDBLAST (50%) PERBANDINGAN 0,5

1	Massa 1 kubus binder geopolimer berukuran 15 x 15 x 5 cm ³									
	Volume 1 kubus	=	s	x	s	x	s			
		=	15	x	15	x	5			
		=	1125		cm ³					
	Massa 1 kubus	=	ρ pasta	x	volume 1 kubus					
		=	2,4	x	1125					
		=	2700		gram					
	Massa Fly Ash + Sandblast	=	80%	x	massa 1 kubus					
		=	80%	x	2700					
		=	2160		gram					
	Massa Fly Ash	=	1080		gram					
	Massa Sandblast	=	1080		gram					
2	Menentukan massa aktivator									
	Massa aktivator	=	20%	x	massa 1 kubus					
		=	20%	x	2700					
		=	540		gram					
	540 gram	=	0,5	NaOH	+		1 Na ₂ SiO ₃			
	540 gram	=	1,5	NaOH						
	Massa NaOH	=	540	/	1,5					
		=	360		gram					
	Massa Na ₂ SiO ₃	=	180		gram					

MIX DESAIN SILINDER FLY ASH (50%) + SANDBLAST (50%) PERBANDINGAN 1,5

1	Massa 1 silinder binder geopolimer berukuran 2,5 x 5 cm ²									
	Volume 1 binder	=	$\frac{1}{4}$	x	π	x	d	²	x	t
		=	$\frac{1}{4}$	x	π	x	2,5	²	x	5
		=	24,54		cm ³					
	Massa 1 binder	=	ρ pasta	x		volume 1 binder				
		=	2,4	x		24,54				
		=	58,90		gram					
	Massa Fly Ash + Sandblast	=	80%	x		massa 1 binder				
		=	80%	x		58,905				
		=	47,1239		gram					
	Massa Fly Ash	=	23,56		gram					
	Massa Sandblast	=	23,56		gram					
2	Menentukan massa aktivator									
	Massa aktivator	=	20%	x		massa 1 binder				
		=	20%	x		58,905				
		=	11,78		gram					
	11,78 gram	=	1,5	NaOH	+	1 Na ₂ SiO ₃				
	11,78 gram	=	2,5	NaOH						
	Massa NaOH	=	11,78	/		2,5				
		=	4,71		gram					
	Massa Na ₂ SiO ₃	=	7,07		gram					

MIX DESAIN KUBUS FLY ASH (50%) + SANDBLAST (50%) PERBANDINGAN 1,5

1	Massa 1 kubus binder geopolimer berukuran 15 x 15 x 5 cm ³									
	Volume 1 kubus	=	s	x	s	x	s			
		=	15	x	15	x	5			
		=	1125		cm ³					
	Massa 1 kubus	=	ρ pasta	x		volume 1 kubus				
		=	2,4	x		1125				
		=	2700		gram					
	Massa Fly Ash + Sandblast	=	80%	x		massa 1 kubus				
		=	80%	x		2700				
		=	2160		gram					
	Massa Fly Ash	=	1080		gram					
	Massa Sandblast	=	1080		gram					
2	Menentukan massa aktivator									
	Massa aktivator	=	20%	x		massa 1 kubus				
		=	20%	x		2700				
		=	540		gram					
	540 gram	=	1,5	NaOH	+	1 Na ₂ SiO ₃				
	540 gram	=	2,5	NaOH						
	Massa NaOH	=	540	/		2,5				
		=	216		gram					
	Massa Na ₂ SiO ₃	=	324		gram					

Lampiran 3

Hasil Pengujian Fly Ash Paiton dan Limbah Sandblasting dengan Analisa *XRF*

XRF merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sample dengan menggunakan metode spektrometri. Pengetesan *XRF* dilakukan di PT. Semen Indonesia, Gresik didapat hasil sebagai berikut :

Tabel Hasil Uji Komposisi Fly Ash Paiton dan Sandblast

	FLY ASH	SANDBLAST
PARAMETER		m/m%
F	<	<
Na ₂ O	0,6450	0,3900
MgO	2,6200	1,9800
Al ₂ O ₃	24,2500	22,0100
SiO ₂	47,1000	49,5300
P ₂ O ₅	0,1880	0,1250
SO ₃	0,2060	0,0714
Cl	<	<
K ₂ O	1,6400	1,1200
CaO	5,8300	4,5600
Sc ₂ O ₃	0,0019	0,0017
TiO ₂	1,1600	1,1500
V ₂ O ₅	0,0459	0,0348
Cr ₂ O ₃	0,0533	0,0741
MnO	0,1010	0,0914
Fe ₂ O ₃	16,0700	18,8000
Co ₃ O ₄	0,0045	<2e
NiO	0,0201	0,0177
CuO	0,0117	0,0113
ZnO	0,0297	0,0173
La ₂ O ₃	<	0,0035
CeO ₂	0,0065	<2e
Nd ₂ O ₃	0,0033	0,0035
WO ₃	<	<2e

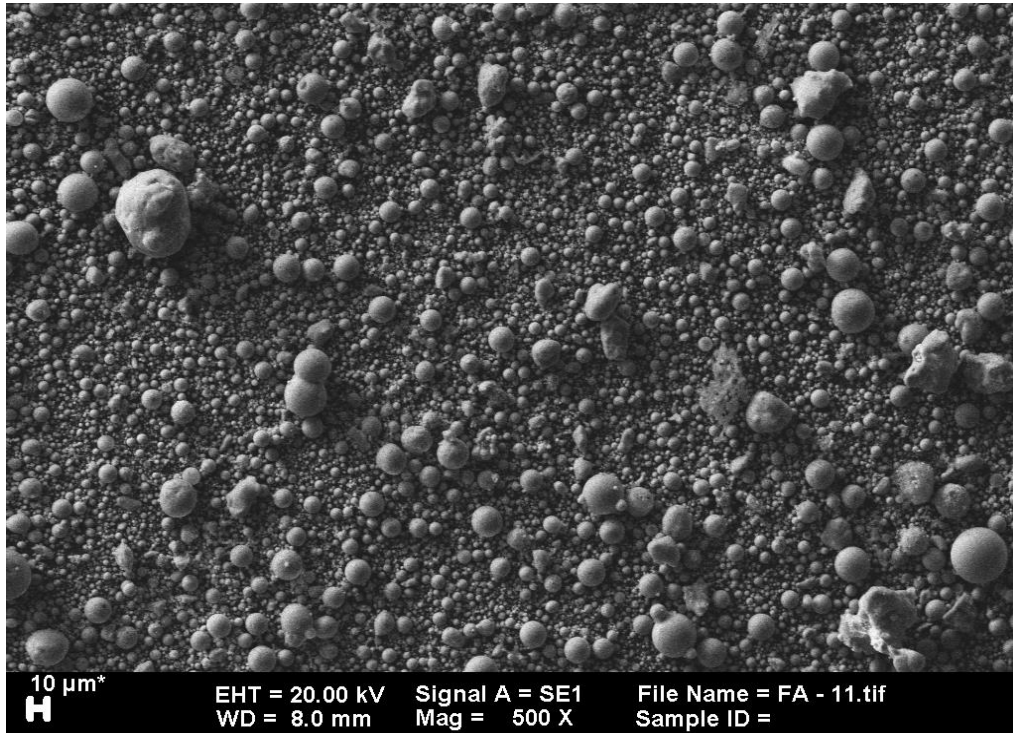
Sumber : Hasil Analisa Fly Ash dan Sandblast

Hasil analisa uji komposisi senyawa kimia *fly ash* Si + Al + Fe > 70%. CaO < 10% termasuk tipe F.

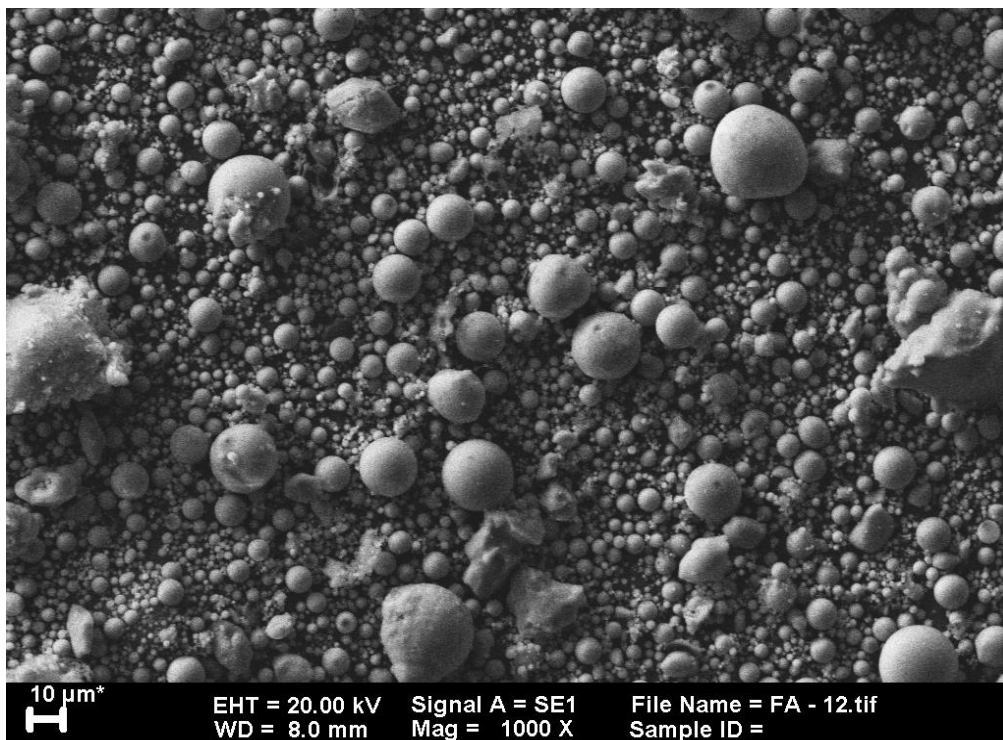
Lampiran 4

Hasil Uji Kandungan Scanning Electron Microscopy (SEM) Fly Ash Paiton

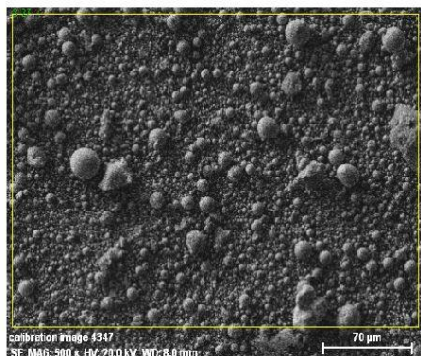
- Visualisasi mikrostruktur partikel fly ash Paiton dengan perbesaran 500 kali dengan skala 10 μ m



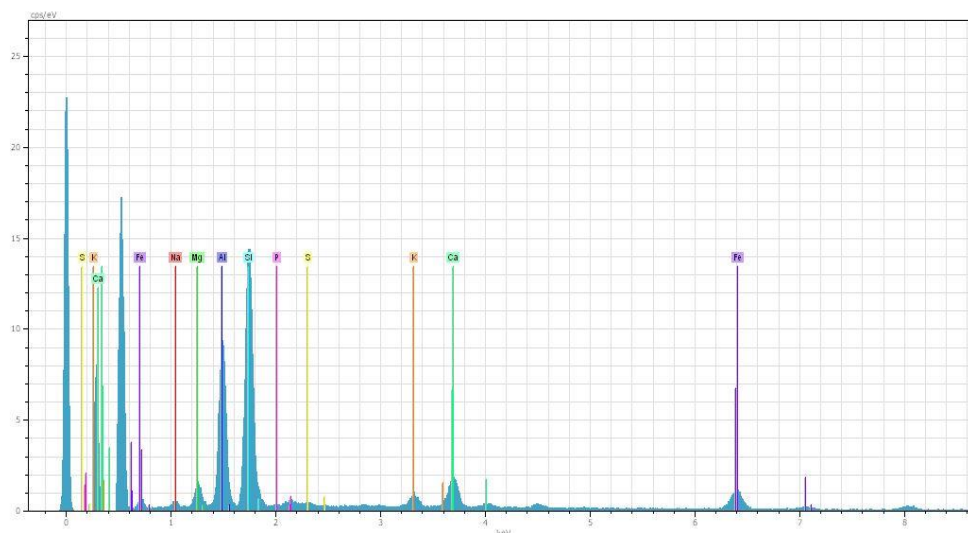
- Visualisasi mikrostruktur partikel fly ash Paiton dengan perbesaran 1000 kali dengan skala 10 μ m



Fly Ash



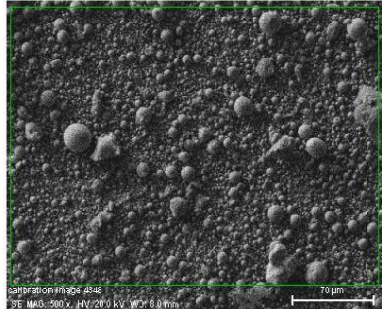
calibration image 4347 Date:11/24/2016
10:48:40 AM Image size:512 x
384 Mag:499.99997x HV:20.0kV



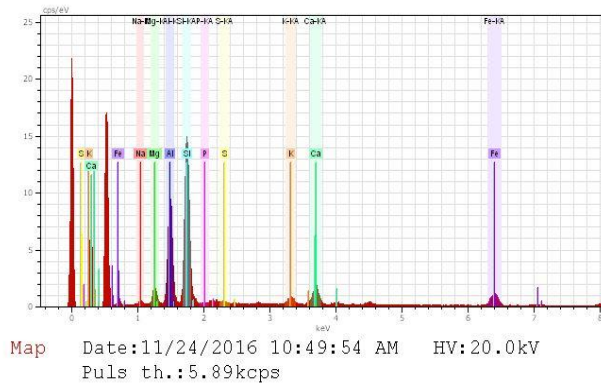
3 27 Date:11/24/2016 10:48:56 AM HV:20.0kV Puls th.:6.40kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Si	14	K-series	18.36	41.01	45.80	0.8
Al	13	K-series	10.63	23.75	27.61	0.5
Fe	26	K-series	6.86	15.32	8.61	0.2
Ca	20	K-series	4.62	10.33	8.08	0.2
K	19	K-series	1.42	3.17	2.54	0.1
Mg	12	K-series	1.20	2.69	3.47	0.1
P	15	K-series	0.90	2.00	2.02	0.1
S	16	K-series	0.58	1.30	1.27	0.1
Na	11	K-series	0.19	0.43	0.58	0.0
Total:			44.78	100.00	100.00	

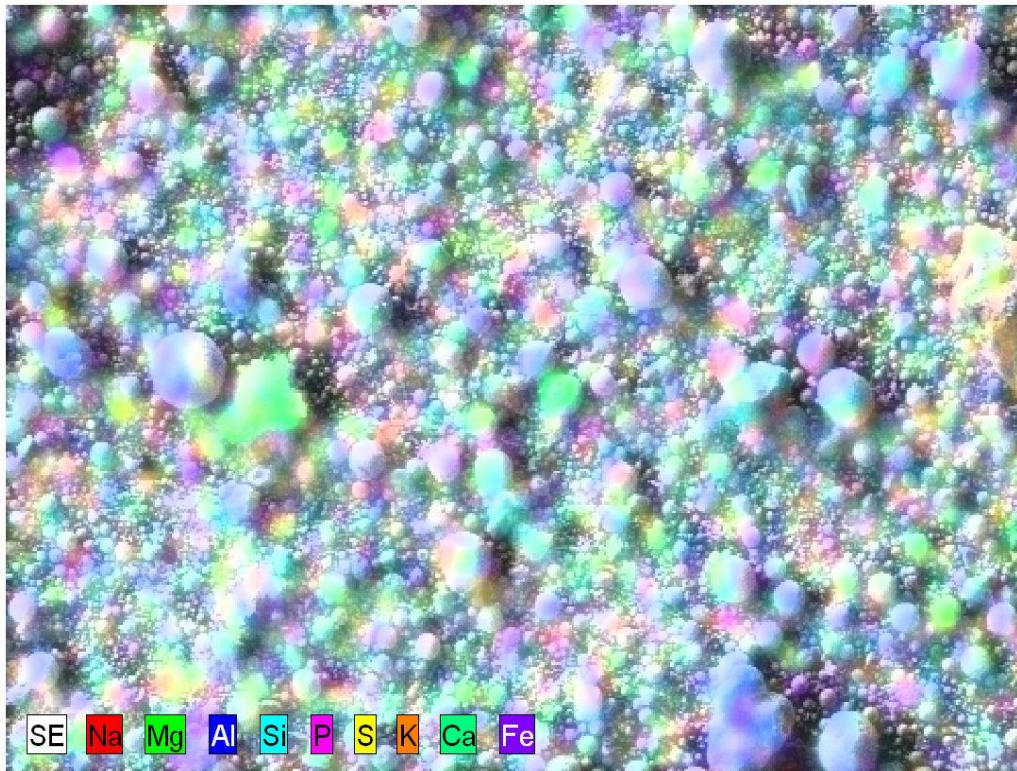
Fly Ash

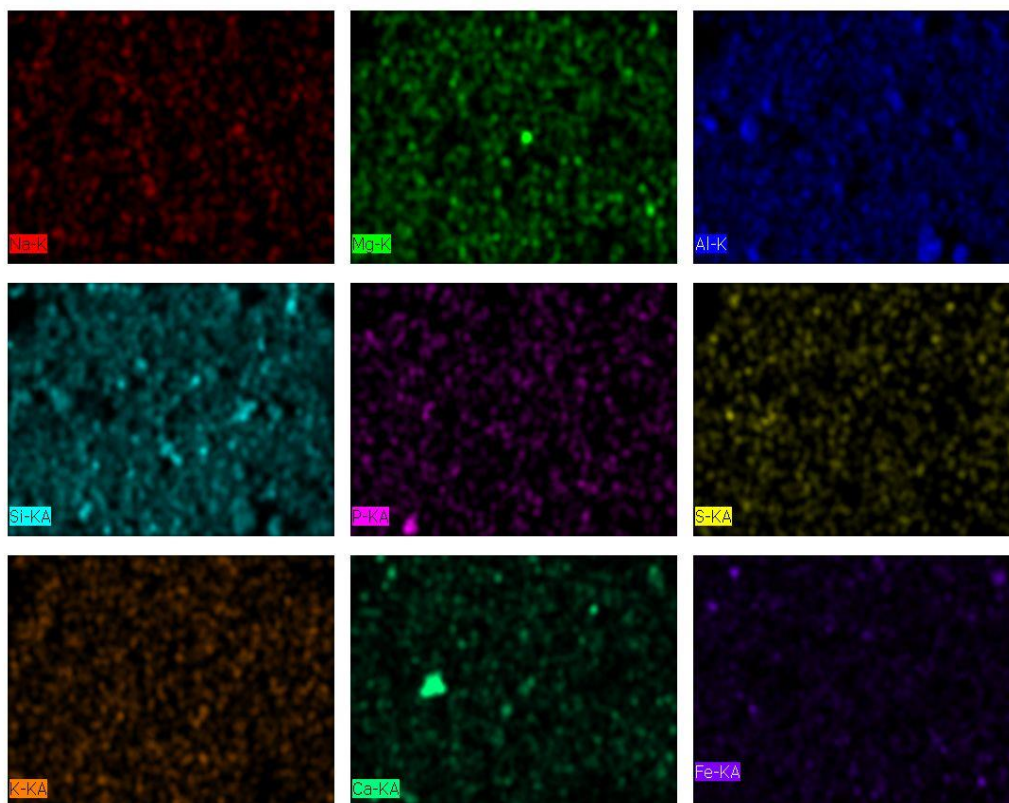


calibration image 4348 Date:11/24/2016
10:48:40 AM Image size:512 x
384 Mag:499.99997x HV:20.0kV



calibration image 21 3381 Date:11/24/2016 10:49:55 AM Image size:498 x
346 Mag:499.99997x HV:20.0kV



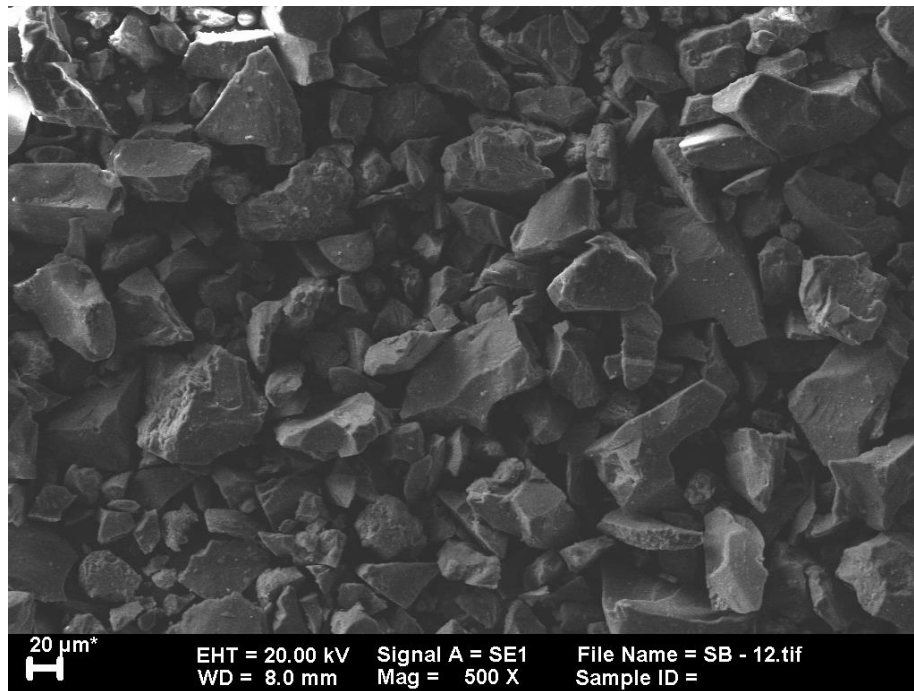


Na-K, Mg-K, Al-K, Si-KA, P-KA, S-KA, K-KA, Ca-KA, Fe-KA Date: 11/24/2016 10:50:32 AM
Image size: 498 x 346
Mag: 499.99997x
HV: 20.0kV

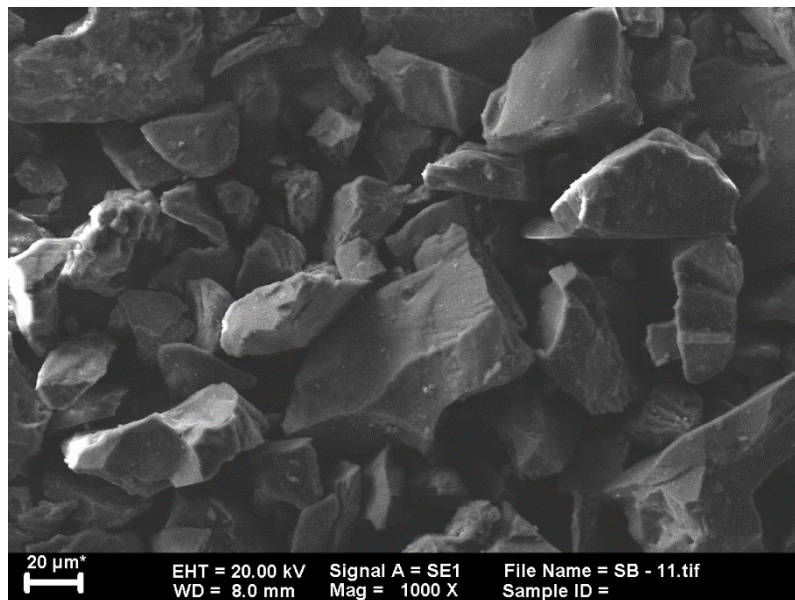
Lampiran 5

Hasil Uji Kandungan Scanning Electron Microscopy (SEM) Limbah Sandblasting PT. Swadaya Graha, Gresik

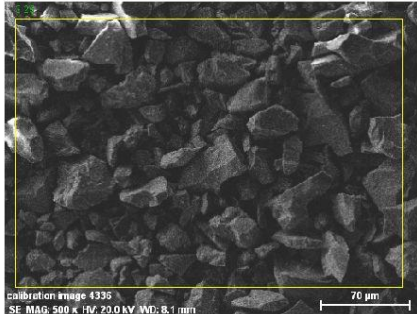
- Visualisasi mikrostruktur partikel sandblast dengan perbesaran 500 kali dengan skala 20 μ m



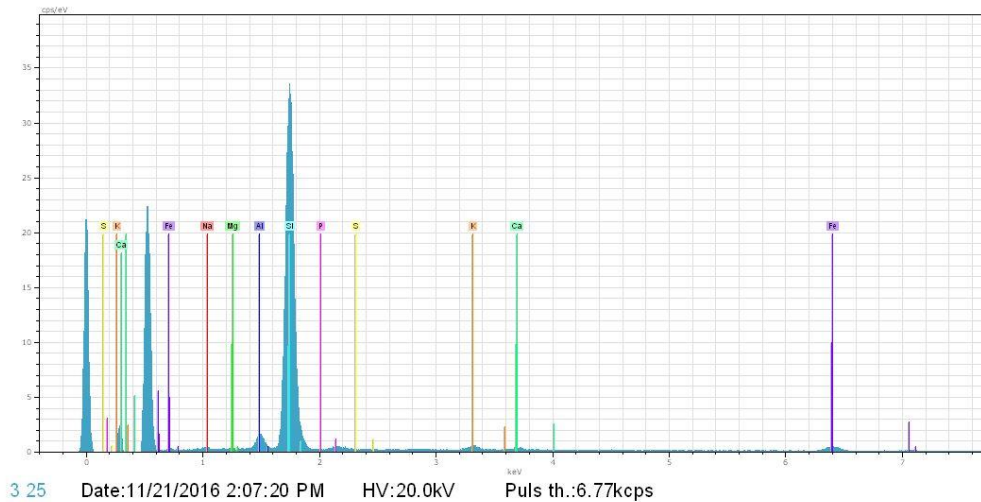
- Visualisasi mikrostruktur partikel sandblast dengan perbesaran 1000 kali dengan skala 20 μ m



Sandblast (SB)



calibration image 4336 Date: 11/21/2016
2:06:54 PM Image size: 512 x
384 Mag: 499.99997x HV: 20.0 kV



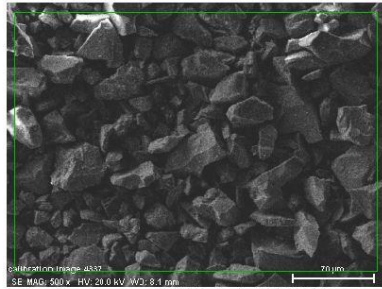
3 25 Date: 11/21/2016 2:07:20 PM HV: 20.0 kV Puls th.: 6.77 kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Si	14	K-series	29.96	83.22	87.58	1.3
Fe	26	K-series	2.74	7.60	4.02	0.1
Al	13	K-series	0.93	2.58	2.83	0.1
P	15	K-series	0.84	2.32	2.21	0.1
K	19	K-series	0.77	2.13	1.61	0.1
Ca	20	K-series	0.50	1.39	1.02	0.0
S	16	K-series	0.26	0.72	0.66	0.0
Na	11	K-series	0.02	0.04	0.06	0.0
Mg	12	K-series	0.00	0.00	0.00	0.0
Total:			36.00	100.00	100.00	

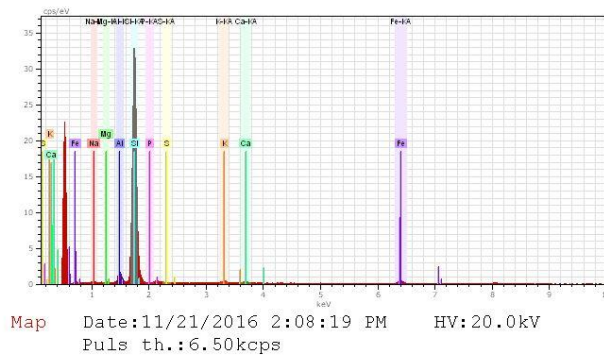
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Si	14	K-series	29.96	83.22	87.58	1.3
Fe	26	K-series	2.74	7.60	4.02	0.1
Al	13	K-series	0.93	2.58	2.83	0.1
P	15	K-series	0.84	2.32	2.21	0.1
K	19	K-series	0.77	2.13	1.61	0.1
Ca	20	K-series	0.50	1.39	1.02	0.0
S	16	K-series	0.26	0.72	0.66	0.0
Na	11	K-series	0.02	0.04	0.06	0.0
Mg	12	K-series	0.00	0.00	0.00	0.0

Total: 36.00 100.00 100.00

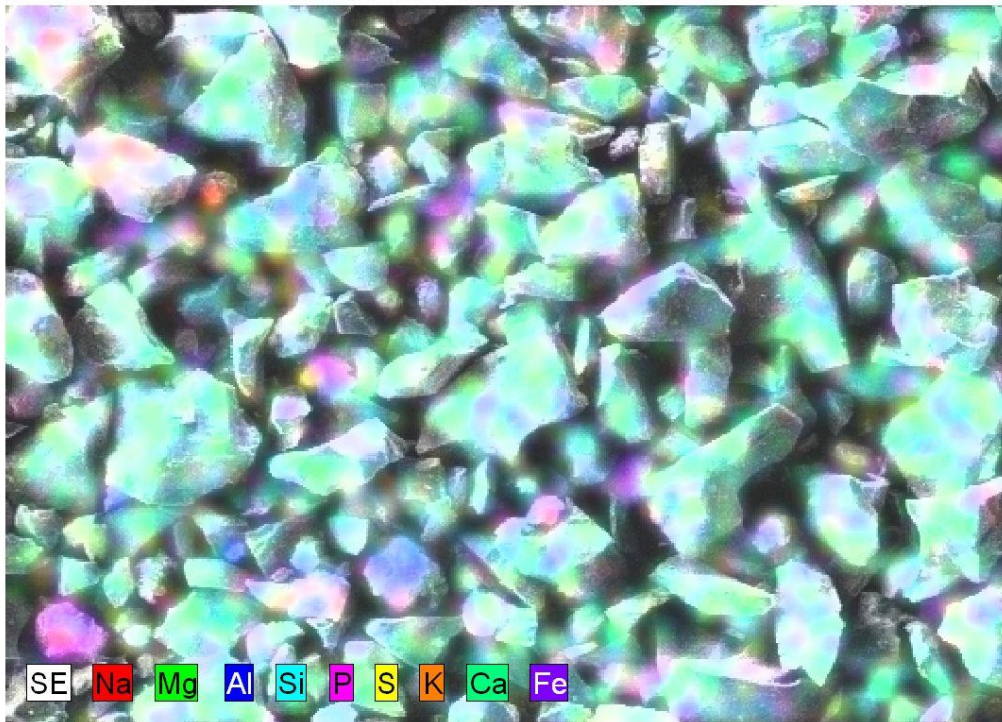
Sandblast (SB)

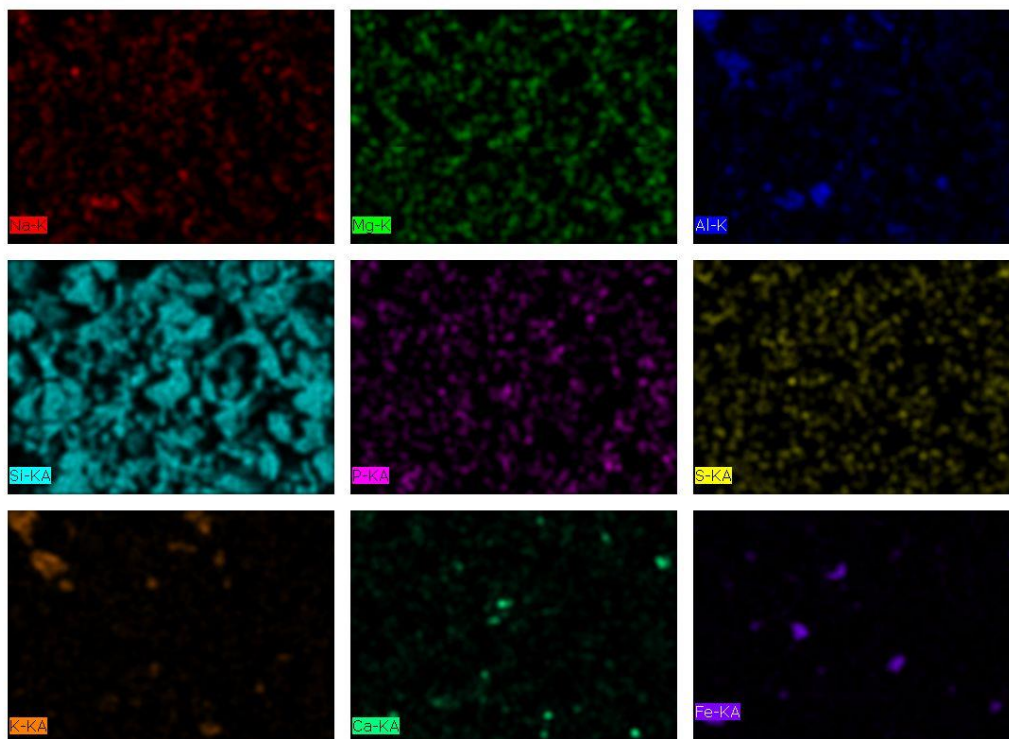


calibration image 4337 Date: 11/21/2016
2:06:54 PM Image size: 512 x
384 Mag: 499.99997x HV: 20.0kV



calibration image 21 3370 Date: 11/21/2016 2:08:20 PM Image size: 490 x
351 Mag: 499.99997x HV: 20.0kV

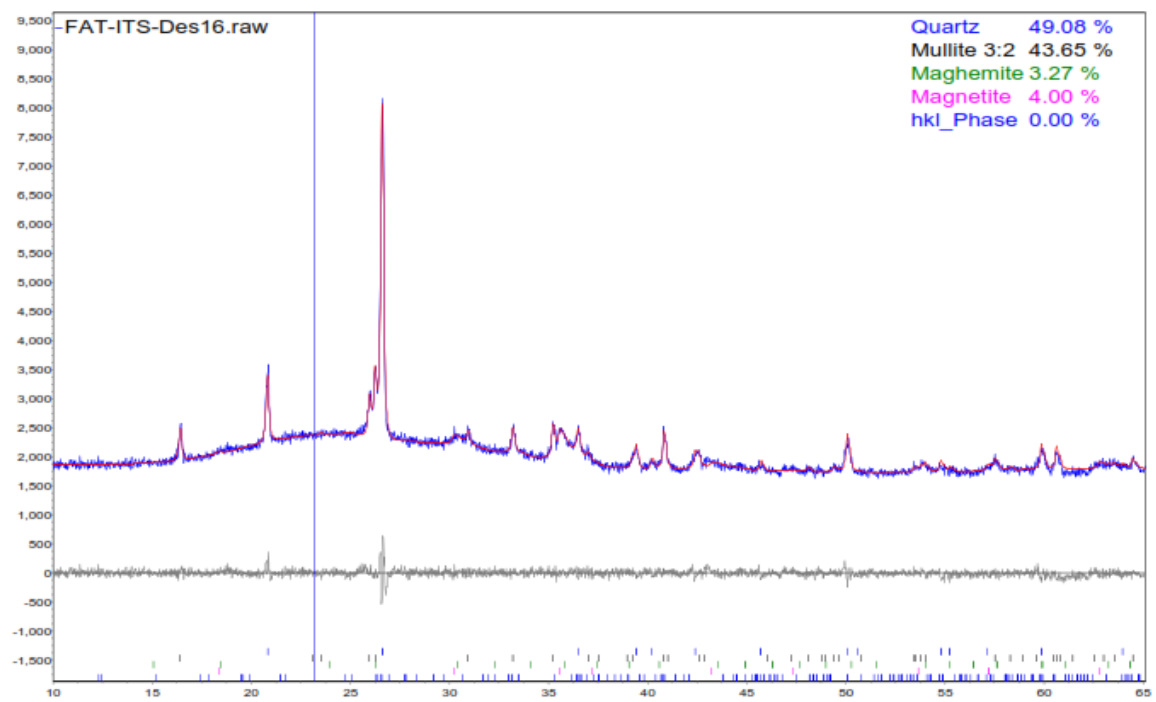




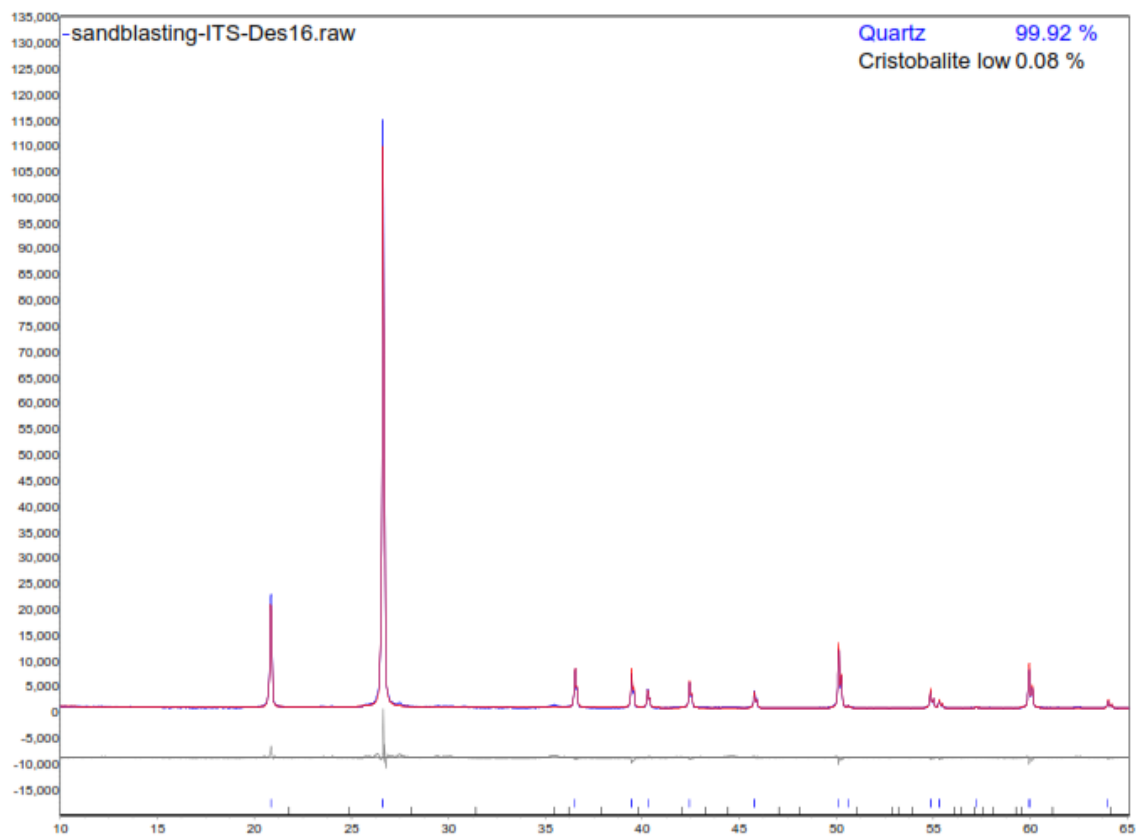
Na-K, Mg-K, Al-K, Si-KA, P-KA, S-KA, K-KA, Ca-KA, Fe-KA Date: 11/21/2016 2:09:03 PM
 Image size: 490 x 351
 Mag: 499.99997x
 HV: 20.0kV

Lampiran 6




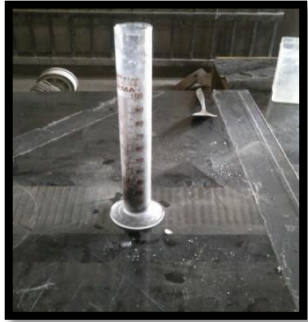





Hasil Pengujian Fly Ash Paiton dengan Analisa *XRD*



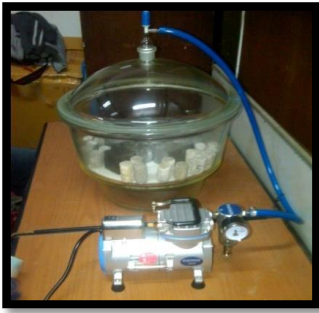
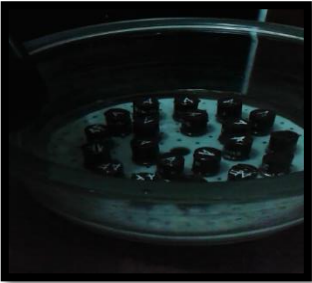













Hasil Pengujian Limbah Sandblasting dengan Analisa *XRD*



Lampiran 7
Dokumentasi Penelitian.

No	Gambar	Gambar	Gambar
1			
Keterangan	Timbangan	Fly ash	Sandblast
No	Gambar	Gambar	Gambar
2			
Keterangan	Tabung ukur	Pembuatan NaOH	NaOH
No	Gambar	Gambar	Gambar
3			
Keterangan	Na_2SiO_3	Mixer pengaduk	Cetakan binder

No	Gambar	Gambar	Gambar
4			
Keterangan	Alat vicat	Binder geopolimer	Alat uji porositas
No	Gambar	Gambar	Gambar
5			
Keterangan	Perendaman dalam air	Penimbangan kering	Penimbangan dalam air
No	Gambar	Gambar	Gambar
6			
Keterangan	Oven	Hasil oven binder	Alat uji kuat tekan
No	Gambar	Gambar	Gambar
7			
Keterangan	Curing	Cetakan kubus	Benda uji kubus

No	Gambar	Gambar	Gambar
8			
Keterangan	Alat uji kepadatan UPV	Stempet	Alat permeabilitas